

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Sensorització amb IoT del circuit de velocitat de Castellolí

MEMÒRIA

Autor: Pablo Mora Blanc
Director: Emilio Hernández Chiva
Convocatòria: Juny 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



RESUM

Un fenomen que estarà molt present en els propers anys és el concepte de l'Internet de les Coses. La possibilitat de connectar una àmplia varietat d'objectes alhora entre sí, està començant a ser un punt d'inflexió en la relació entre persones i màquines. La tendència actual, preveu que en menys d'una dècada es tripliqui la quantitat de dispositius connectats.

En el present projecte es pretén treballar en aquesta direcció. El treball tracta d'analitzar quines variables es podrien presentar fent ús de sensors i d'una xarxa de comunicacions compatible amb la naturalesa de l'Internet de les Coses.

En els primers capítols es presenten les tecnologies disponibles actuals i es selecciona la més adequada per l'estudi realitzat. Arribat a aquest punt, la metodologia emprada es basa en elaborar una descripció tècnica de diverses propostes pensades i dissenyades pel circuit de velocitat de Castellolí.

La totalitat de les millores efectuades venen dictaminades per les necessitats tècniques específiques dels diferents components i la viabilitat d'aquestes en el complex. Després de realitzar un exhaustiu anàlisi de les diverses alternatives possibles a partir dels càlculs pertinents, s'arriba a establir solucions que suposen un molt baix consum energètic amb un cost competitiu.

Per últim, a partir de les limitacions que ofereixen els mòduls seleccionats, es confecciona una solució comercial que satisfaci la implementació final per a cada proposta i posteriorment, s'elabora un anàlisi econòmic del conjunt de les millores.

SUMARI

RESUM	2
SUMARI	4
ÍNDIX DE FIGURES	9
ÍNDIX DE TAULES	11
GLOSSARI	12
1. INTRODUCCIÓ	14
1.1. Finalitat	14
1.2. Objectius	14
1.3. Abast del projecte	14
2. ESTAT DE L'ART	15
2.1. Internet de les Coses	15
2.2. Raons per implementar l'IoT i solució òptima	18
2.3. Tecnologies disponibles.....	19
2.3.1. Recol·lecció de dades.....	19
2.3.2. Comunicació de dades.....	20
2.3.3. Emmagatzematge i transmissió de dades	23
3. SIGFOX	24
3.1 Descripció de la xarxa.....	24
3.2. Conclusions de les solucions que ofereix SigFox.....	26
3.3. Recepció i processament de dades	27
3.4. Dispositius disponibles	27
4. ELECCIÓ DEL DISSENY DEL DISPOSITIU	30
4.1. Prototip genèric per dispositius fixos.....	30
4.1.1. Mòdul Telecom Design TD1208R.....	30
4.1.2. Font d'alimentació.....	32
4.1.2.1. Bateria en paral·lel.....	32

4.1.2.2. Convertidor DC/DC.....	33
4.1.3. Components auxiliars.....	33
4.1.3.1. Connector dispositiu-sensor.	33
4.1.3.2. Interruptor digital de mosfets	33
4.1.3.3. Antena RF.....	34
4.2. Prototip genèric per dispositius mòbils.....	35
4.2.1. Mòdul Telecom Design TD1205.....	35
5. PARCMOTOR CASTELLOLÍ	37
5.1. Història del circuit	37
5.2. Instal·lacions.....	38
5.3. Circuit de velocitat.....	39
5.4. Normativa instal·lacions ParcMotor.....	41
6. PROPOSTES DE SENSORITZACIÓ AMB L'IOT EN EL CIRCUIT DE VELOCITAT	44
6.1. Mesura de la temperatura i humitat de la pista	44
6.1.1. Plantejament del problema	44
6.1.2. Dispositiu fix amb sensor de temperatura i humitat.....	45
6.1.2.1. Sensor de temperatura	45
6.1.2.2. Sensor d'humitat.....	46
6.1.2.3. Sensor de temperatura i humitat T9602.....	48
6.1.3. Implementació de la solució.....	49
6.1.3.1. Ubicació i instal·lació.....	49
6.1.3.2. Funcionament de l'aplicació.....	51
6.1.3.3. Consum energètic	52
6.2. Mesura del nivell acústic	54
6.2.1. Plantejament del problema	54
6.2.2. Dispositiu fix amb sensor acústic.....	55

6.2.2.1. Sensor acústic	55
6.2.3. Implementació de la solució.....	56
6.2.3.1. Ubicació i instal·lació.....	56
6.2.3.2. Funcionament de l'aplicació.....	58
6.2.3.4. Consum energètic	58
6.3. Detector de lluminositat als boxes	59
6.3.1. Plantejament del problema	59
6.3.2. Dispositiu fix amb sensor de llum.....	60
6.3.2.1. Sensor fotoelèctric	60
6.3.3. Implementació de la solució.....	62
6.3.3.1. Ubicació i instal·lació	62
6.3.3.2. Funcionament de l'aplicació.....	63
6.3.3.3. Consum energètic	64
6.4. Control de la velocitat al pit lane i del tràfic en pista	65
6.4.1. Plantejament del problema	65
6.4.2. Dispositiu fix amb sensor radar Doppler	66
6.4.2.1. Sensor radar Doppler	67
6.4.2.3. Convertidor DC/DC.....	69
6.4.2.4 Divisor de tensió resistiu	69
6.4.3. Implementació de la solució.....	70
6.4.3.1. Ubicació i instal·lació.....	70
6.4.3.2. Funcionament de l'aplicació.....	70
6.4.3.3. Consum energètic	71
6.5. Control del nivell de brossa del circuit	72
6.5.1. Plantejament del problema	72
6.5.2. Dispositiu fix amb detector de residus emmagatzemats	73
6.5.2.1. Sensor ultrasònic	73

6.5.3. Implementació de la solució.....	75
6.5.3.2. Funcionament de l'aplicació.....	76
6.5.3.4. Consum energètic	76
6.6. Recollida de pneumàtics usats	77
6.6.1. Plantejament del problema	77
6.6.2. Dispositiu fix amb detecció de càrrega	78
6.6.2.1. Cel·la de càrrega a compressió	79
6.6.2.2. Convertidor DC/DC i divisor de tensió resistiu.....	80
6.6.3. Implementació de la solució.....	80
6.6.3.1. Ubicació i instal·lació.....	80
6.6.3.2. Funcionament de l'aplicació.....	80
6.6.3.4. Consum energètic	81
6.7. Control d'accés al circuit de velocitat.....	82
6.7.1. Plantejament del problema	82
6.7.2. Dispositiu mòbil amb acceleròmetre.....	83
6.7.3. Implementació de la solució.....	84
6.7.3.1. Ubicació i instal·lació.....	84
6.7.3.2. Funcionament de l'aplicació.....	84
6.7.3.4. Consum energètic	85
6.8. Detector en cas d'accident	86
6.8.1. Plantejament del problema	86
6.8.2. Dispositiu mòbil amb GPS i acceleròmetre	87
6.8.2.1. Interruptor polsador	88
6.8.3. Implementació de la solució.....	88
6.8.3.1. Ubicació i instal·lació.....	88
6.8.3.2. Funcionament de l'aplicació.....	89
6.8.3.3. Consum energètic	90

6.9 Aspectes finals	92
6.9.1 Consum energètic total.....	92
6.9.2 Plànol del circuit de velocitat sensoritzat.....	93
7. PRESSUPOST	94
7.1. Prototip genèric per dispositius fixos.....	94
7.2 Prototip genèric per dispositius mòbils.....	94
7.3 Dispositius implementats	95
7.4 Pressupost final	98
CONCLUSIONS.....	99
AGRAÏMENTS.....	100
BIBLIOGRAFIA	101
Referències bibliogràfiques	1041
Bibliografia complementària	104

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 2.1 Exemple de xarxa de sensors interconnectats	15
Figura 2.2 Dispositius connectats a IoT. Font pròpia en base a [2]	16
Figura 2.3 Despesa total en IoT. Font pròpia en base a [2]	17
Figura 2.4 Raons de les empreses per invertir en IoT i noves oportunitats de negoci. Enquesta interactiva del CBS. [3]	18
Figura 3.1 Exemple de solució d'un detector de fum [3]	26
Figura 3.2 Classificació dels mòduls TD12xx en funció de les seves capacitats. [4]	28
Figura 4.1 Diagrama de blocs TD2108R. Datasheet del TD1208R [5]	31
Figura 4.2 Panasonic 6LF22XWA/B [6]	32
Figura 4.3 Recom R-78E3.3-0.5 [7]	33
Figura 4.4 Circuit de mosfets amb Altium Designer	34
Figura 4.5 Antena RF [21]	34
Figura 4.6. Diagrama de pins TD1205. Datasheet del TD1205. [8]	36
Figura 4.7 Diagrama de blocs del TD1205. Datasheet del TD1205. [8]	36
Figura 5.1 Imatge del complex del circuit ParcMotor [9]	37
Figura 5.2 Plànol del complex ParcMotor de Castellolí [10]	39
Figura 5.3 Plànol del circuit de velocitat [10]	41
Figura 6.1 Climograma de Castellolí [11]	44
Figura 6.2 Termistor NTC JS6862 [12]	46
Figura 6.3 Sensor humitat capacitiu SHT7x [13]	48
Figura 6.4 Sensor temperatura i humitat T9602 [14]	48
Figura 6.5 Connexions del sensor T9602 [14]	49
Figura 6.6 Plànol d'AutoCAD del circuit de velocitat. Inclou sensors de temperatura i humitat. Elaborat en base al plànol facilitat per SERPRO	51
Figura 6.7 Sensor acústic CJMCU-4466	56
Figura 6.8 Plànol d'AutoCAD del circuit de velocitat. Inclou sensors acústics. Elaborat en base al plànol facilitat per SERPRO	57
Figura 6.9 Imatge de l'interior dels boxes	60
Figura 6.10 Sensor fotoresistor PDV-P8001 [15]	61
Figura 6.11 Imatge d'acoblament del cablejat del sensor [15]	61
Figura 6.12 Ubicació dels sensors fotoelèctrics en base al plànol del pàdoc del circuit de velocitat [10]	63

Figura 6.13 Imatge de la recta principal i del pit lane del circuit de velocitat	66
Figura 6.14 Sensor radar Doppler HB100 [16]	67
Figura 6.15 Sirena de llum vermella LED estroboscòpica [17]	69
Figura 6.16 Sensor ultrasònic HC-SR04 [18].....	74
Figura 6.17 Cel·la de càrrega FC23 [22].....	79
Figura 6.18 Imatge del pont d'accés al pàdoc del circuit de velocitat.....	82
Figura 6.19 Imatge de la porta principal d'entrada al circuit de velocitat.....	83
Figura 6.20 Polsador Schurter 1301.9309 [20].....	88
Figura 6.21 Plànol d'AutoCAD del circuit de velocitat. Inclou la globalitat de les propostes. Elaborat en base al plànol facilitat per SERPRO	93

ÍNDEX DE TAULES

Taula 2.1 Comparativa SigFox vs LoRa [2].....	22
Taula 6.1 Mesures del TD1208 amb sensor de temperatura i humitat.....	53
Taula 6.2 Valors de consum del TD1208 amb sensor de temperatura i humitat.....	54
Taula 6.3 Mesures del TD1208 amb sensor acústic	59
Taula 6.4 Valors de consum del TD1208 amb sensor acústic.....	59
Taula 6.5 Tensió analògica aproximada en base al sensor fotoresistor PDV-P8001	62
Taula 6.6 Mesures del TD1208 amb sensor fotoelèctric	65
Taula 6.7 Valors de consum del TD1208 amb sensor fotoelèctric.....	65
Taula 6.8 Mesures del TD1208 amb sensor radar Doppler i llum vermella de LEDs ...	72
Taula 6.9 Valors de consum del TD1208 amb sensor radar Doppler i llum vermella de LEDs.....	72
Taula 6.10 Mesures del TD1208 amb sensor ultrasònic	77
Taula 6.11 Valors de consum del TD1208 amb sensor ultrasònic	77
Taula 6.12 Mesures del TD1208 amb cel·la de càrrega.....	81
Taula 6.13 Valors de consum del TD1208 amb cel·la de càrrega.....	82
Taula 6.14 Mesures del TD1205 en la porta principal d'accés	86
Taula 6.15 Valors de consum del TD1205 en la porta principal d'accés.....	86
Taula 6.16 Impacte d'acceleracions en diversos esdeveniments.....	87
Taula 6.17 Mesures del TD1205 com a rastrejador.....	90
Taula 6.18 Valors de consum del TD1205 com a rastrejador	91
Taula 6.19 Consum mitjà total al llarg d'un dia.....	92
Taula 7.1 Llistat de components principals del dispositiu fix	94
Taula 7. 2 Llistat de components principals del dispositiu mòbil	94
Taula 7. 3 Components del dispositiu amb sensor de temperatura i humitat	95
Taula 7.4 Components del dispositiu amb sensor acústic	95
Taula 7.5 Components del dispositiu amb sensor radar Doppler	95
Taula 7.6 Components del dispositiu amb sensor fotoelèctric	96
Taula 7.7 Components del dispositiu amb sensor ultrasònic.....	96
Taula 7.8 Components del dispositiu amb cel·la de càrrega	96
Taula 7.9 Components del dispositiu d'accés a la porta principal	97
Taula 7.10 Components del dispositiu rastrejador	97
Taula 7.11 Pressupost final.....	98

GLOSSARI

3G: *Tercera Generació.*

ADC: *Analog-to-Digital Converter.*

API: *Application Programming Interface.*

ASCII: *American Standard Code for Information Interchange.*

DNA: *Digital Network Architecture.*

GPIO/USR: *General Purpose Input/Output.*

GPRS: *General Packet Radio Service.*

GPS: *Global Positioning System.*

GSM: *Global System for Mobile communications.*

HTTP: *HyperText Transfer Protocol.*

I²C: *Inter-Integrated Circuit.*

IoT: *Internet of Things.*

ISM: *Industrial, Scientific and Medical.*

LDR: *Light-Dependent Resistor.*

LED: *Light-Emitting Diode.*

LPWAN: *Low-Power Wide Area Network.*

M2M: *Machine To Machine.*

NTC: *Negative Temperature Coefficient.*

PTC: *Positive Temperature Coefficient.*

RF: *Radio Frequency.*

RFID: *Radio Frequency IDentification.*

RTD: *Resistance Temperature Detector.*

SDK: *Software Development Kit.*

TD: *Telecom Design.*

TIC: *Tecnologías de la Información y la Comunicación.*

TIM2: *Timer/Counter.*

UNB: *Ultra Narrow Band.*

VSWR: *Voltage Standing Wave Ratio.*

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Finalitat

La finalitat del projecte és poder connectar un gran nombre d'objectes entre ells mitjançant l'Internet de les Coses. Es pretén presentar una alternativa de molt baix consum energètic i amb un cost del producte final competitiu.

1.2. Objectius

L'objectiu principal del projecte és realitzar un estudi de les alternatives que ofereix l'Internet de les Coses en la gestió del circuit de velocitat de Castellolí. En l'afany de millorar la convivència de les noves tecnologies amb l'entorn, es definiran un conjunt de propostes i s'analitzarà, tant la viabilitat com l'impacte que comporten. Per tant, el treball requerirà d'un estudi previ de les diferents xarxes de telecomunicacions disponibles per seguidament, a partir d'una descripció tècnica, s'avaluï cada solució. L'elecció de les respectives alternatives vindrà definida per les especificacions del disseny i es valorarà en funció del cost i de les prestacions pertinents.

1.3. Abast del projecte

El present projecte planteja l'execució del procés de recerca i investigació dels recursos disponibles fins al disseny i posterior implementació de cada proposta. Està caracteritzat en un circuit de velocitat com és el de Castellolí que actualment, disposa de força alternatives de millora en quant a infraestructures respecta. D'igual manera, s'espera que moltes propostes adoptades siguin extrapolables a altres circuits del panorama mundial.

2. ESTAT DE L'ART

2.1. Internet de les Coses

L'Internet de les Coses o *Internet of Things* (IoT) ha irromput en les TIC amb molta força. S'ha convertit en un fenomen revolucionari i avantguardista no només en el món de les tecnologies, sinó també en la vida de les persones. Si bé pot semblar un conjunt de tecnologies arriscades i novadores que han intentat satisfer les necessitats del moment, s'ha donat una tendència a millorar allò ja implementat prèviament, tenint un impacte important en àrees com la comunicació, les empreses, la ciència i la humanitat.



Figura 2.1 Exemple de xarxa de sensors interconnectats

Si ben és cert que el concepte de l'Internet de les Coses no disposa d'una definició concreta, s'entén per l'IoT a tots aquells objectes o dispositius de l'àmbit quotidià connectats a la internet i que contenen algun tipus d'intel·ligència. En altres paraules, podem definir-lo com l'intercanvi d'informació en forma de dades d'un objecte, tant amb un altre (M2M) com amb les persones, per mitjà del internet.

Les seves arrels es poden remuntar a fa pràcticament 20 anys. Més concretament a l'*Institut de Tecnologia de Massachusetts* (MIT) per un grup fundat al 1999 que realitzava investigacions en el camp de la identificació de freqüència en la xarxa (RFID) i les tecnologies de sensors emergents. L'investigador Kevin Ashton, en el mateix any, va introduir per primer cop la idea de l'IoT i la família de tecnologies que representa.

No obstant, segons *Cisco IBSG* [1], no és fins els anys 2008 i 2009 amb l'explosió del concepte de Big Data, etapa en la qual s'estima el naixement de l'IoT. Un punt d'inflexió en el qual la quantitat de dispositius connectats al internet augmentava bruscament gràcies a la capacitat de processar milions de dades en temps real

Un estudi recent del 2017 per la firma d'anàlisis *Gartner* [2] preveu una evolució exponencial dels dispositius en els propers anys, mantenint-se la tendència actual de creixement. Es preveu que cap a finals de la dècada hi hagin 20.400 milions d'objectes intel·ligents en funcionament. Sembla ser que finalment s'ha aconseguit ajustar una previsió rigorosa que inicialment altres estudis anteriors dataven de fins a 100 milions de dispositius connectats i que finalment s'ha anat reduint fins a la xifra actual. Segons aquesta previsió, cap a finals del present curs, hi haurà fins a 8.400 milions d'objectes connectats en tot el món, suposant un augment de pràcticament el 31% en comparació al 2016.

En la següent figura es pot veure la estimació del número d'objectes connectats a l'Internet de les Coses fins el 2020 i fent la comparativa amb l'increment de la població mundial en aquest mateix període.

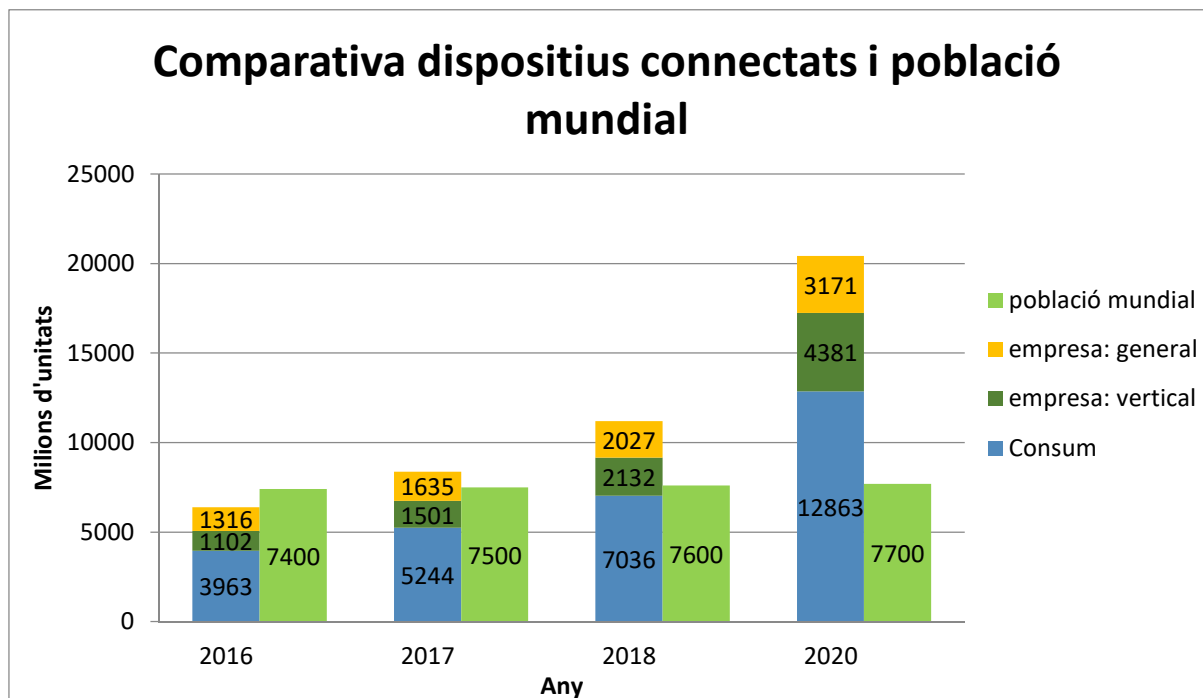


Figura 2.2 Dispositius connectats a IoT. Font pròpia en base a [2]

Com s'observa en la figura 2.2, el consum representa el principal impulsor del Internet de les Coses i representa en el panorama actual el 67% dels dispositius connectats entre els que destaquen a part de les unitats operatives, els televisors intel·ligents i els descodificadors digitals, amb un total de més de 5.200 milions d'objectes.

Cal tindre també molt present l'impacte que aquesta família de tecnologies ofereix en solucions a les empreses. A nivell de facturació, la despesa comercial del IoT representarà el 57% de la despesa general total del IoT en l'actual any 2017. En la següent figura podem veure l'evolució d'aquest impacte econòmic fins a finals de la dècada.

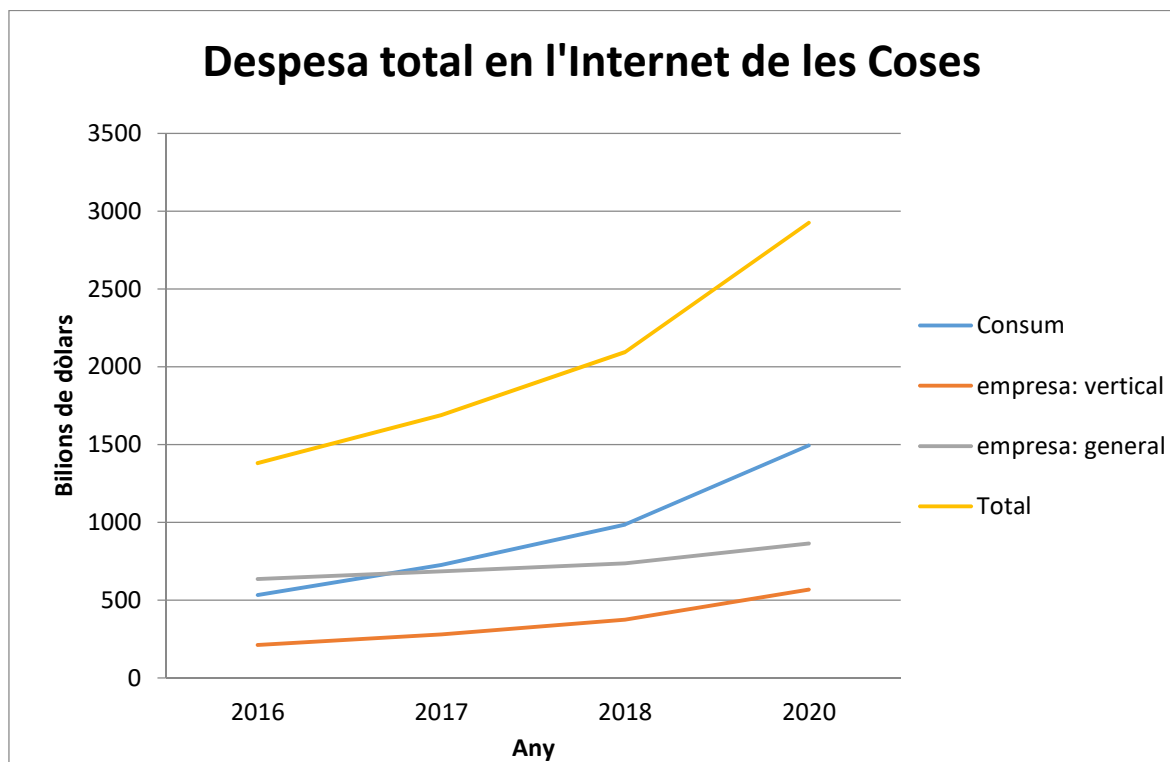


Figura 2.3 Despesa total en IoT. Font pròpia en base a [2]

Per tant, podem concloure que els consumidors són els que compren més dispositius intel·ligents, però són les empreses aquelles que inverteixen i gasten més recursos en el que coneixem com Internet de les Coses. En 2017, la despesa estimada per part de les empreses pujarà fins als \$964 mil milions mentre que les sol·licituds pels consumidors ascendeixen als \$725 mil milions que junts fan un total de \$1.689 mil milions. Aquesta xifra es duplicarà en tres anys fins assolir casi els \$3 trilions per el 2020.

D'acord amb la directora d'investigació a *Gartner* Denise Rueb, els serveis del IoT són fonamentals per l'augment d'aquests dispositius i si es manté aquest ritme ascendent, la despesa en serveis de IoT assolirà els \$273.000 milions en el present any.

Les conclusions que es poden extreure d'aquesta previsió indiquen que els serveis són controlats per la tecnologia operativa IoT on els proveïdors s'encarreguen d'assistir a les empreses en el disseny, implementació i operació d'aquests sistemes. Malgrat això, no són altres que els serveis de connectivitat i de consum els que creixeran a un ritme més ràpid en un futur degut a que són més nous, i per tant, creixen des d'una base petita alhora que els costos cauen i sorgeixen noves aplicacions.

2.2. Raons per implementar l'IoT i solució òptima

Les principals raons per les quals les empreses aposten per implementar l'Internet de les Coses es poden traduir en la següent figura que mostra la importància de diversos factors per a les organitzacions que han considerat o plantejat la incorporació d'aquesta tecnologia.

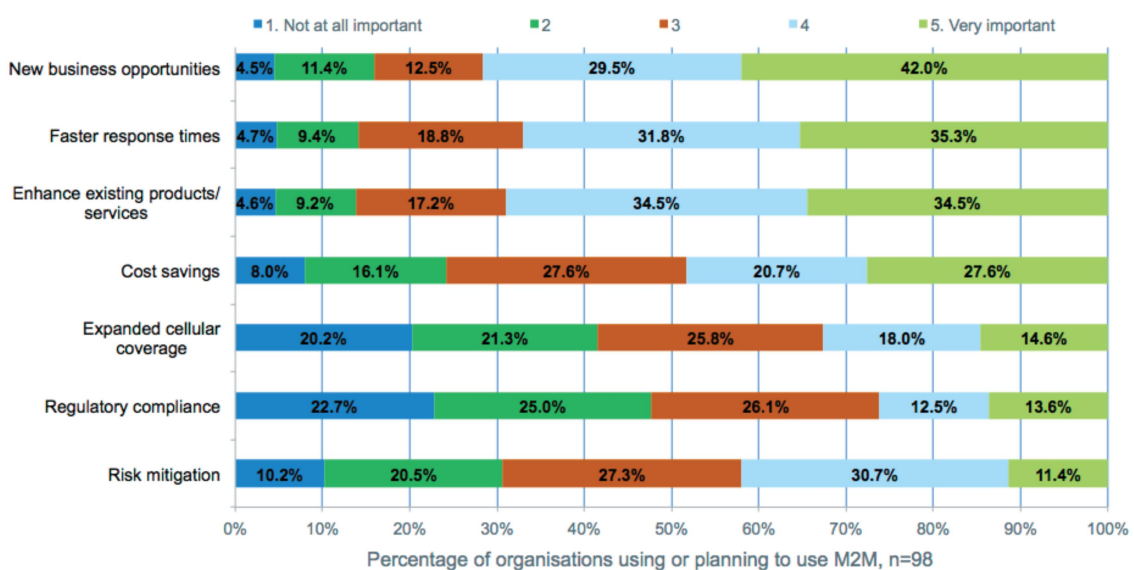


Figura 2.4 Raons de les empreses per invertir en IoT i noves oportunitats de negoci. Enquesta interactiva del CBS. [3/]

La novetat i popularitat que ha anat adquirint en els recents anys la converteixen en una gran oportunitat de negoci, especialment amb les noves empreses. Com s'observa en la figura 2.4, l'impacte econòmic també és molt significatiu amb un estalvi en els costos a llarg termini. Destaquen encara més el servei al client, tant en productes com en serveis, i la rapidesa en el temps de resposta que afavoreixen una experiència a l'usuari molt

atractiva. Aquests avanços estan permetent a les empreses a assolir un avantatge competitiu en el mercat laboral i un benefici brutal. Per això, s'espera que la tendència en els propers anys a l'intercanvi d'informació augmenti bruscament i estigui més present encara en el futur que s'acosta de manera que sigui econòmicament i físicament viable.

Cal destacar la inclusió que tindran aquestes noves oportunitats en diferents sectors d'activitat: construcció, energia, indústria, transport, serveis públics, domòtica, seguretat, salut, etc. La quantitat de casos aplicables són molt nombroses i permeten que estiguin present en pràcticament tots els sectors.

2.3. Tecnologies disponibles

L'arquitectura de l'IoT es basa en la comunicar entre dispositius o M2M per connectar-los entre ells. Podem dividir aquest procés en tres fenòmens que possibiliten l'ús d'aquesta tecnologia. Cadascun d'ells s'ocupa d'una tasca; des de l'extracció de dades rebudes, passant pel seu enviament, i finalitzant en la recepció i posterior processament de les dades amb l'objectiu d'obtenir els resultats desitjats.

2.3.1. Recol·lecció de dades

Els mecanismes per obtenir la informació requerida que caldrà enviar, els componen els sensors i les xarxes de sensors. Aquesta etapa de transducció està integrada pels sensors encarregats de convertir les magnituds físiques (pressió, temperatura, cabal, llum, CO₂, etc.) presents en el món real en magnituds elèctriques.

Les possibilitats en quant a tipus de sensors que podem trobar són molt àmplies: sensors de temperatura, de fum, de posició, de pressió, d'ultrasò, de llum, d'humitat, de moviment, amb acceleròmetres, entre d'altres. I la llista pot incrementar-se si tenim present la implicació de moltes empreses en l'IoT que poden dissenyar i personalitzar els sensors en funció de les seves necessitats.

Convertida la senyal física, cal una segona etapa de condicionament que adapta aquests senyals provinents dels sensors per tal d'obtenir senyals elèctrics compatibles amb les exigències del mòdul de processament.

2.3.2. Comunicació de dades

Vista la necessitat de capturar dades amb sensors, és igual d'important la infraestructura de comunicació per a la transmissió d'aquestes.

Aquí entra en joc un nou escenari que ofereix l'IoT. La necessitat d'una solució ideal per a la connectivitat de baix rendiment invita a les operadores a adaptar-se als canvis i oferir noves solucions de xarxes que tinguin un cost i consum baix, un llarg rang, independència, i un fàcil i pràctic ús.

Les connexions M2M basades en la transmissió de missatges curts abasten molts tipus de comunicació. Veurem les que tenen un impacte més important.

- GSM / GPRS / 3G

El GSM (Global System for Mobile Communications) és el sistema de comunicació de 2^a generació basat en cel·les de radio que operen sobre els 900MHz. Aquesta tecnologia digital permet la transmissió de dades a baixa velocitat, 9,6 kbps, permetent enviar missatges curts (SMS). Té certes limitacions: poc ample de banda i un cost excessiu.

El GPRS (General Packet Radio Services) millora i actualitza la tecnologia GSM. Orientada a la transmissió de dades, la seva velocitat de transmissió augmenta a 56-114 kbps. Per mitjà de petits paquets, es pot enviar i rebre dades a través de la telefonia per satèl·lit. Aquestes dades s'envien quan les xarxes estan lliures i poden demorar la transmissió. Per això, es va veure desplaçat pels sistemes 3G. Els costos d'enviament de dades també són elevats.

La tecnologia 3G, basada en la tecnologia GPRS, permet una connexió permanent a internet per mitjà de dispositius mòbils. Ofereix una millor qualitat, seguretat i una major velocitat de transmissió de dades de fins a 384 kbps.

- Bluetooth

La tecnologia sense fils Bluetooth opera a partir d'ones de radio de curt abast que transmet dades per radiofreqüència en la banda ISM de 2,4 GHz. El seu objectiu és simplificar la sincronització de dades entre dispositius connectats. Amb l'última versió 4.0 es redueix notablement el consum d'energia.

- Wifi

Tecnologia sense fils per connectar i intercanviar informació entre dispositius. Té una gran acceptació i s'utilitza en la majoria d'aparells electrònics per comunicar-se a través d'internet. Les dades s'envien per radiofreqüència. La connexió estàndard més coneguda és la 802.11 que opera en les bandes de 2,4 i 5 GHz. Es poden connectar múltiples dispositius en una mateixa xarxa.

Totes aquestes solucions de connectivitat nombrades són de curt abast i no estan dissenyades per aplicacions de baix rendiment. A més, tenen l'inconvenient de ser molt complicades de gestionar. La connectivitat Wifi, per exemple, requereix de la configuració de cada objecte en funció de la xarxa Wifi on es connectarà. També, l'ample de banda intensiu fa que es consumeixi molta energia.

- Transmissió per satèl·lit

La connectivitat per satèl·lit és un sistema molt recomanable ja que té l'avantatge de proporcionar una gran cobertura inclòs en àrees remotes tals com zones rurals o allunyades. No obstant, els costos són encara més alts en comparació a la resta de serveis de xarxes de telecomunicacions. Per tant, es descarta l'ús de satèl·lits per l'IoT des del començament.

També, vist des d'una perspectiva tecnològica, tant les xarxes de connectivitat com la connectivitat per satèl·lit acostumen a estar dissenyades per una comunicació constant entre els clients i la pròpia xarxa. El problema succeeix quan els clients continuen comunicant-se amb la xarxa tot i no haver-hi dades reals a enviar. L'impacte d'aquestes contínues accions queda reflectit directament en un consum d'energia elevat, que no només representa un impacte negatiu en el clima sinó que fa que les bateries dels objectes s'esgotin ràpidament, impedingint que els dispositius tinguin una autonomia òptima.

- SigFox i LoRa

Per aconseguir una solució ideal per les necessitats de l'IoT, cal crear una nova arquitectura de xarxes digitals (DNA) que s'adapti a una connexió de baix rendiment i que compleixi una sèrie de requisits específics: baix cost, baix consum energètic, llarg abast, adaptació a diferents entorns i fàcil integració als sistemes.

En aquesta direcció, s'han dissenyat xarxes tals com són SigFox o LoRa que compleixen tot els requeriments i necessitats establerts.

A pesar de que ambdues xarxes s'han posicionat de manera similar en el mercat de l'IoT, tenen tecnologia i màrqueting diferents. Per una banda SigFox pretén convertir-se en un operador de l'IoT universal, mentre que LoRa vol proporcionar una tecnologia a altres empreses per crear un IoT global. En la següent taula es comparen algunes característiques d'interès per a cada cas.

	SigFox	LoRa
Banda de freqüència (ISM)	868/915 MHz	433/868/780/915 MHz
Cobertura zona urbana	3-10km	2-5km
Cobertura zona rural	30-50km	15-20km
Transmissió de dades	Unidireccional. També pot rebre fins a 4 missatges diaris.	Bidireccional
Tecnologia ample de banda	UNB (Ultra Narrow Band)	CSS(Chirp-Spread-Spectrum)
Mida del missatge	12 bytes	Definit per l'usuari
Dispositius per punt d'accés	1 milió	100 mil
Utilització	Pràctic per transmissions infreqüents. Major durada de la bateria	Consumeix més ample de banda
Seguretat	Identifica i autentifica dispositius.	Encriptació de seguretat. Pitjor protecció que SigFox

Taula 2.1 Comparativa SigFox vs LoRa [2]

Les dues xarxes són molt similars en quant a prestacions. L'elecció final per la tecnologia SigFox es justifica per l'atractiu que representa i les necessitats del projecte. Proporciona una infraestructura d'antenes i estacions base independents de les xarxes de telecomunicacions existents amb un baix ample de banda i està millor adaptada per la transmissió de missatges petits respecte a LoRa. Això comporta una major durada de la bateria. A més, que la comunicació estigui enfocada per transmissions unidireccionals no és un inconvenient degut a que les aplicacions proposades no requeriran de cap recepció d'informació externa.

2.3.3. Emmagatzematge i transmissió de dades

Finalment, la informació transmesa arriba als centres de processament de dades que recullen totes les mesures fetes pels sensors i són enviades a la xarxa de telecomunicacions. Aquestes plataformes, a partir d'un software amb els algoritmes desenvolupats apropiats, interpreten totes les dades rebudes i es dóna sentit a la informació d'utilitat pel destinatari final.

3. SIGFOX

3.1 Descripció de la xarxa

Per aquest projecte resulta interessant donar a conèixer la tecnologia SigFox, una infraestructura revolucionària i pionera en el camp de la connectivitat LPWAN (baixa potència i llarg abast), que ofereix una àmplia connectivitat d'objectes en l'àmbit de l'Internet de les Coses (IoT) i el M2M. Dedicada exclusivament a les comunicacions de baixa velocitat i amb l'objectiu de disminuir radicalment els preus i el consum energètic. Amb aquest propòsit, la firma francesa SigFox pretén convertir-se en una xarxa de comunicació altament competitiva capaç de donar cobertura en tot el panorama mundial amb representació de fins a 30 països diferents, majoritàriament europeus, i una previsió d'augmentar aquesta xifra a 62 territoris per a finals de l'any 2018. En el cas d'Espanya, la implementació dels serveis i la xarxa de SigFox està controlada per l'operadora de xarxa *Cellnex Telecom*.

A diferència de les operadores de telefonia que intenten augmentar l'ample de banda a 2/3/4G per poder donar un millor servei de xarxa als dispositius mòbils, la tecnologia SigFox es basa en aconseguir connectar a internet tot aquell objecte que es desitgi en qualsevol lloc i de manera assequible. Per assolir aquest objectiu, els dispositius es troben en repòs la major part del temps i transmeten missatges de petit pes, convertint-la en una solució òptima per l'IoT i fent possible la connexió de milions de dispositius amb un baix consum.

La xarxa SigFox es caracteritza pel seu ample de banda ultra estreta (UNB) amb un rang de freqüències petit, concretament treballa sobre 868 MHz a Europa i sobre 915MHz als Estats Units. A diferència d'altres proveïdors de banda estreta, no requereix una inversió en equips de xarxa ja que està disponible per a qualsevol objecte equipat amb les solucions de connectivitat certificades pertinents.

Respecte a les bandes de freqüència, la xarxa funciona en les bandes ISM o bandes de freqüència sense llicència. Per tant, coexisteix amb altres tecnologies de radio que fan servir les mateixes freqüències però sense cap risc de col·lidir o tindre problemes de capacitat. L'ISM està regulat pels organismes: *European Telecommunication Standards Institute* (ETSI) en Europa i la *Federal Communication Commission* (FCC) en els Estats Units.

S'estima que el servei és capaç d'albergar fins a un milió d'objectes connectats per cada punt d'accés. Aquesta densitat entre antenes es troba en un rang d'entre 30 i 50 km en àrees rurals i d'entre 3 i 10 km en àrees urbanes.

El funcionament de comunicació de la tecnologia SigFox es realitza per mitjà de transceptors que permeten la transmissió de dades de manera unidireccional i bidireccional. Així doncs, es poden generar missatges de fins a 12 bytes (capacitat corresponent a 9 caràcters ASCII) i enviar un màxim de 140 missatges diaris. En el cas de transceptors bidireccionals es poden també arribar a rebre un total de 4 missatges diaris. Com s'observa, la comunicació en SigFox està dissenyada per afavorir les transmissions des de la terminal a la base i no tant a l'inrevés, missatges dirigits des de la base a la terminal. La quantitat de missatges que es poden enviar bé determinada per la subscripció contractada que oscil·la entre 1€ i 12€ per dispositiu.

És a dir, està pensada per enviar missatges de petit pes, cada cert temps i que transmetin la informació rebuda amb els mòduls i sensors implementats, idoni per les propostes de millora del projecte i en general, per l'Internet de les Coses.

Per entendre millor el concepte que envolta SigFox, s'exposarà un exemple d'aplicació amb un detector d'incendis que tindrà la funció d'alarma i avisarà en cas de fum. Per fer arribar aquest avís, el dispositiu disposa d'un mòdul que emet senyals diàries en forma de polsos. És indispensable programar el mòdul de forma que en tot moment es garanteixi el correcte funcionament de l'alarma per tal d'estar operativa quan la situació ho requereixi. La resta del temps, el mòdul roman en repòs, aconseguint un estalvi energètic important i un allargament de la seva vida operativa. Així doncs, en el moment que es produeix un incendi, entra en funcionament i envia missatges d'alerta. A través d'una interfície de programació d'aplicacions (API) simple i estàndard, l'aplicació encarregada de rebre els missatges es connecta amb el servei administratiu de SigFox i rep els avisos corresponents quan més ho necessita. D'aquesta manera es pot fer arribar l'alarma tant al propietari com al servei de bombers directament i, per tant, agilitzar la transmissió d'informació.



Figura 3.1 Exemple de solució d'un detector de fum [3]

3.2. Conclusions de les solucions que ofereix SigFox

Si reunim totes aquestes característiques que ens ofereix la tecnologia SigFox, podem simplificar els aspectes claus a partir dels següents criteris que tindran major o menor importància segons el sector d'aplicació en l'àmbit de l'Internet de les Coses:

- Baix consum energètic, per augmentar l'esperança de vida útil del dispositiu i la bateria (fins a 20 anys), minimitzant l'impacte ambiental. La potència consumida dependrà de la quantitat de missatges enviats i de la freqüència d'aquests. Per exemple, un objecte que enviï 3 missatges al dia consumirà una bateria de 2.5 Ah.
- Baix cost, permetent connectar a la xarxa grans quantitats d'objectes a preus competitius a partir d'una subscripció que oscil·la entre 1€ i 14€ per dispositiu en funció de l'ample de banda, el número d'objectes implementats i la quantitat de dades transmeses.
- Facilitat d'ús, degut a que la xarxa està sempre disponible i preparada per ser utilitzada. No requereix de complexes plataformes per connectar els dispositius i les APIs venen incloses en el paquet de connectivitat amb la subscripció a SigFox.
- Llarg abast i profunditat, ja que permet connectar objectes que es troben a una gran distància, fins i tot, objectes subterranis o enterrats.

- Operativitat, a través de connectar tots els objectes a la xarxa es controlen i gestionen eficientment.
- Independència de la freqüència, adaptant-se a qualsevol entorn i garantint cobertura a nivell mundial.
- Versatilitat, oferint un ampli camp de possibilitats d'implementació. Ideal per aplicacions de l'Internet de les Coses.

3.3. Recepció i processament de dades

Un cop introduïts els trets generals de la xarxa que ocupa el nostre estudi, resta per tractar els transceptors encarregats d'emetre missatges a internet, i per altra banda, el sistema IT i Backend que ha de rebre aquests missatges i processar-los adequadament.

En el segon cas, SigFox ofereix una aplicació web (*SigFox Backend*) que permet registrar adreces HTTPS i des de la qual, es poden gestionar els dispositius i visualitzar els missatges rebuts per aquests, entre d'altres. És a dir, cada cop que el dispositiu envia un missatge, es redirigeix el volum d'informació que arriba a l'aplicació del Backend, a l'adreça HTTPS configurada. Aquesta transmissió de dades a qualsevol aplicació es pot dur a terme per mitjà de les APIs facilitades per l'aplicació.

A través d'un kit de desenvolupament de software o SDK (Software Development Kit), permet a l'usuari crear aplicacions per un sistema concret.

3.4. Dispositius disponibles

En quant a dispositius emissors d'informació, existeixen grans proveïdors de chips i mòduls en el mercat com poden ser *Silicon Labs*, *Intel*, *Texas Instrument* o *Telecom Design*. Tots aquests, aposten i donen suport a la tecnologia SigFox.

En aquest treball, es familiaritzarà amb l'empresa que destaca sobre la resta en quant a desenvolupament de solucions com és *Telecom Design*. Els dispositius SigFox Ready certificats que ofereix per integrar-se a la xarxa SigFox estan integrats per la família TD12xx. En la següent figura es representen els diferents mòduls en funció de les capacitats i solucions que disposen.

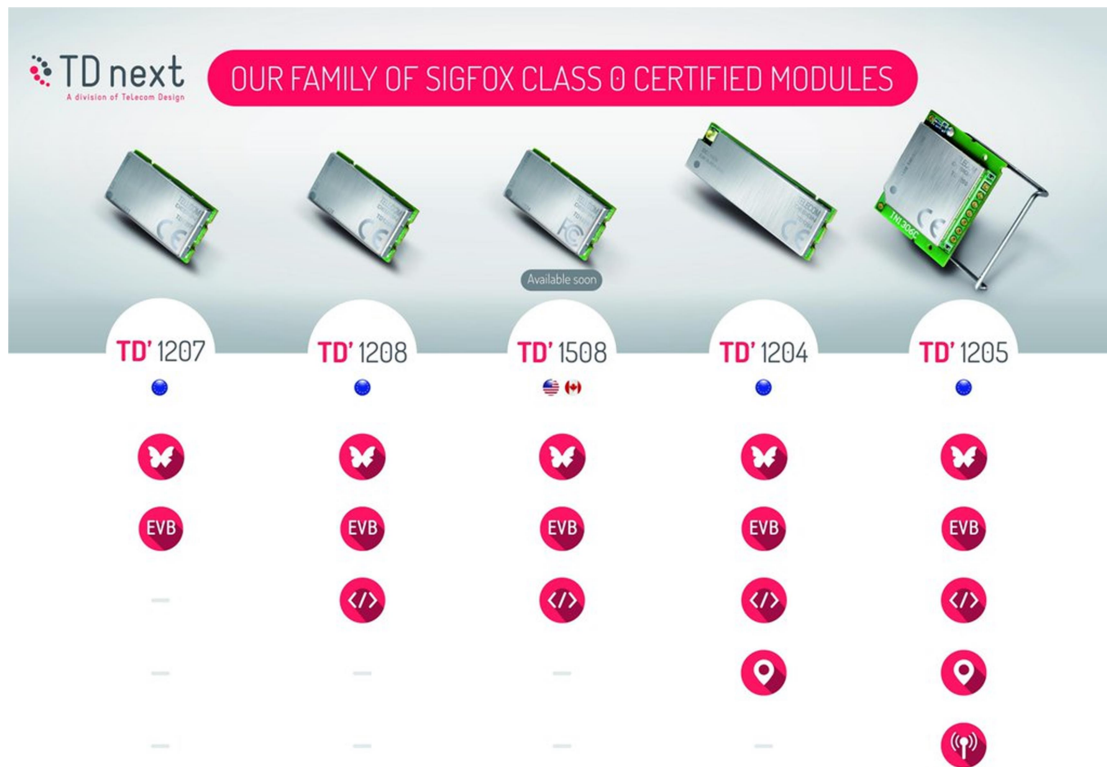







Figura 3.2 Classificació dels mòduls TD12xx en funció de les seves capacitats. [4]

Les capacitats que ofereixen els mòduls de la figura en ordre descendent són les següents:

-  Certificació SigFox classe 0 (categoria de 0 a 3, sent 0 la que millor qualitat de radio ofereix i 3 la que pitjor)
-  Taula devaluació (EVB) per connectar i avaluar la xarxa SigFox
-  Kit de desenvolupament de software (SKD)
-  Geolocalització (GPS)
-  Antena integrada

Taula 3.1 Capacitats dels mòduls TD12xx. Font pròpia en base a [4]

En l'estudi que ocupa el treball, és interessant conèixer les característiques generals dels mòduls TD1208 i el TD1205 per a les aplicacions que es volen implementar al circuit. A través del SDK de Telecom Design, junt amb les llibreries de comunicació del seu repertori es poden realitzar la gran majoria d'aplicacions pensades pel projecte.

Per una banda, el primer d'aquests dos mòduls, el TD1208, serà el transceptor utilitzat quan el dispositiu no requereixi d'acceleròmetre o de GPS. Aquest mòdul està basat en el dispositiu TD1204 però amb menys prestacions y funcions. Permet utilitzar la tecnologia de curt abast amb freqüències ISM i també la tecnologia de llarg abast SigFox consumint el mateix consum però amb la diferència que no disposa ni de GPS, ni d'acceleròmetre. És un mòdul que compleix tots els requisits necessaris per optimitzar la majoria de millores del projecte amb un cost significativament més econòmic que en el cas del TD1205.

Per altra banda, el mòdul TD1205 disposa de grans avantatges en el cas que es necessiti detectar acceleracions o canvis de posicions gràcies a que porta integrat un acceleròmetre i un GPS en el propi mòdul. A més, es caracteritza perquè no disposa d'antena externa ja que també està integrada al mòdul. Això comporta una disminució considerable de la seva mida en relació al seu precedent i en el que es basa, el dispositiu TD1204 que requereix d'antena externa. Aquests factors fan més atractiu i pràctic el seguiment d'objectes. No obstant, cal tenir present l'augment de preu que comporta respecte el seu antecedent, així com un consum més elevat i del qual caldrà estudiar-ne la seva rendibilitat.

4. ELECCIÓ DEL DISSENY DEL DISPOSITIU

En l'elaboració del dispositiu que abastirà les aplicacions implementades en el circuit de velocitat, partirem d'uns components comuns pensats pel correcte funcionament de les millores que les facin el més funcional possible.

Es consideraran dos tipus de dispositius en funció del mòdul emprat, ja sigui el TD1208 o el TD1205. Aquests, aniran acompanyats de diversos components tals com bateries, convertidors de tensió, interruptors i antenes, entre d'altres.

4.1. Prototip genèric per dispositius fixos

El dispositiu estarà pensat per aquelles aplicacions que no requereixin d'un acceleròmetre o GPS incorporat. A continuació es detallaran els components amb que treballarà el dispositiu.

4.1.1. Mòdul Telecom Design TD1208R

És fonamental començar introduint el dispositiu TD1208 amb el qual ens comunicarem amb la xarxa SigFox gràcies a la configuració bidireccional emissor/receptor de radiofreqüència d'alt rendiment.

De manera general, es descriu com un dispositiu energèticament eficient. Això és degut a la baixa potència que consumeix i l'ús de baixes corrents en les seves connexions. Té un consum de 32/51 mA en transmissió, de 13/16 μ A en recepció i una sensibilitat de -126dBm pel mateix canal de comunicació. Ofereix una excepcional potencia de sortida de +16dBm i treballa en el rang de freqüències 868.0 MHz i 869.7 MHz amb diferents tipus de modulació i una alta immunitat al soroll. Per mitjà de comandes AT es pot arribar a comunicar amb el mòdul.

Seguint amb els avantatges que aporta el mòdul, l'alt rendiment i molt baix consum que ofereix ve lligat amb el processador ARM Cortex M3 que treballa amb una freqüència de rellotge de 32 kHz i que disposa d'una memòria RAM de 16 kB i d'una Flash de 128 kB ideal per l'entorn de treball del dispositiu.

L'alimentació del mòdul ve donada pel rang de tensions des de 2.3V fins a 3.3V. Disposa a més amb un sensor de temperatura i fins a 5 ports configurables d'entrada i sortida, així com un bus I²C per facilitar la comunicació entre memòries, processadors o altres dispositius.

Mencionar per últim, els dos convertidors A/D i D/A d'alta resolució per a la conversió dels senyals generats.

A continuació es pot observar el diagrama de blocs simplificat del mòdul que ocupa unes dimensions de 25,4x12,7x3,81mm.

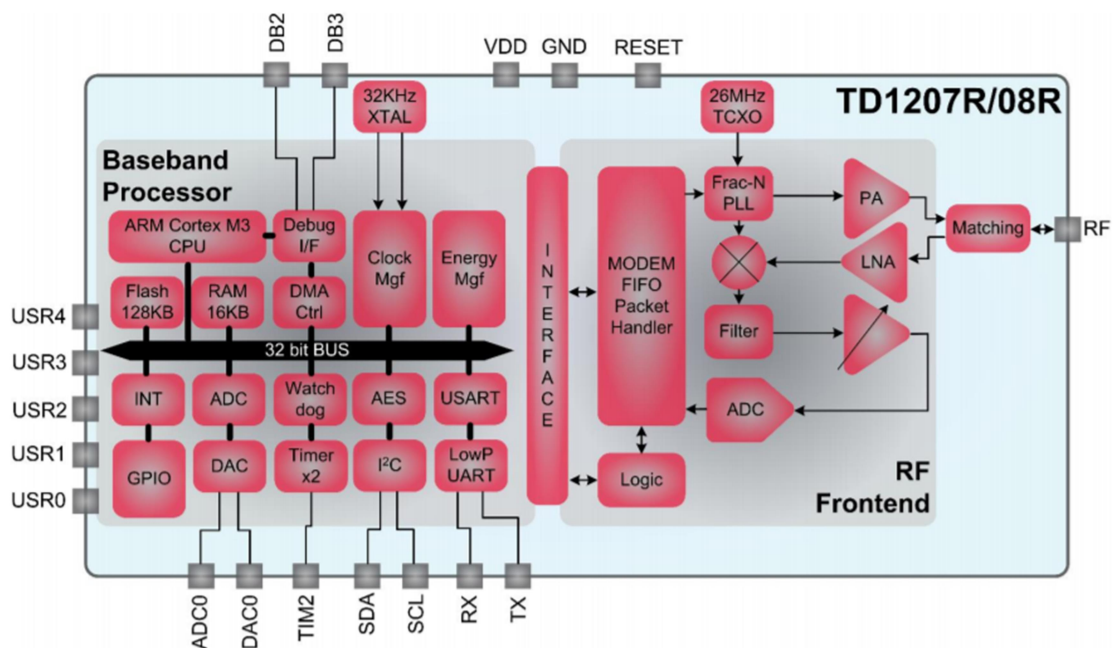


Figura 4.1 Diagrama de blocs TD2108R. Datasheet del TD1208R [5]

Per un costat tenim el bloc d'interfície RF on anirà connectada l'antena, amb els filtres de soroll i els conversos i mescladors per tal de processar els senyals modulats d'aquesta.

Respecte al processador és interessant fer menció de les connexions que ens seran d'utilitat en el nostre dispositiu:

- VDD: tensió d'alimentació
- GND: connexió a terra
- ADC0: convertidor analògic-digital
- USR: port configurable per l'usuari

- TIM2: sortida de temps configurable
- RF: sortida antena radiofreqüència

A l'hora de posar en funcionament el dispositiu és important tindre present les condicions operatives pel seu correcte funcionament. La temperatura de treball està compresa des dels -30°C fins els 75°C i en quant a la tensió d'alimentació, entre 2,3V i 3,6V. Per tant, les condicions òptimes marcades vindran establertes per una temperatura ambient (T_A) de 25°C i una tensió d'alimentació de 3,3V

A raó de les característiques tècniques del mòdul TD1208, s'escolliran la resta de components essencials d'acord a les especificacions indicades en la fitxa de dades que siguin compatibles i funcionals amb l'objectiu del dispositiu final.

4.1.2. Font d'alimentació

4.1.2.1. Bateria en paral·lel

Per donar autonomia al dispositiu, és indispensable l'ús d'una alimentació de tensió. En l'estudi que ocupa el treball, la solució més apropiada és la d'alimentar-lo per mitjà dues piles Panasonic 6LF22XWA/B en paral·lel de 9V. S'ha considerat l'elecció d'aquest model degut a que compleix perfectament les condicions necessàries i s'acoba adequadament al dispositiu. Cada bateria proporciona 1,2 Ah i en paral·lel, 2,4 Ah.

Amb unes dimensions de 26,5x17,5x48mm, una vida útil de 5 anys i un rang de temperatures operatives que oscil·la entre els -20°C i els 54°C la fan més que suficient per abastir la potència consumida total.



Figura 4.2 Panasonic 6LF22XWA/B [6]

4.1.2.2. Convertidor DC/DC

Per fer arribar al mòdul la tensió necessària de 3,3V cal un convertidor reductor que transformi la corrent contínua de la pila de 9V en una altra de 3,3V per aquest concret cas.

L'elecció del model Recom R-78E3.3-0.5 ha estat condicionada pel mòdul i la bateria. Té un tensió d'entrada de 6 a 28V i disposa d'una única sortida amb una tensió a 3,3V, tal i com s'exigia, i amb un corrent límit de 500 mA, suficient pels requeriments del dispositiu. També té una eficiència del 87%. La connexió es fa per forats passants.



Figura 4.3 Recom R-78E3.3-0.5 [7]

4.1.3. Components auxiliars

4.1.3.1. Connector dispositiu-sensor.

L'objecti d'implementar un connector mascle i femella és bàsicament per poder connectar diferents sensors externs al mateix dispositiu. D'aquesta manera es condiona un espai dins del prototip per fer les connexions més accessibles per l'usuari. Un connector possible és el Molex 70553 que requerirà d'entre 3 i 4 posicions per fer les connexions d'alimentació i les de senyals analògiques o digitals.

4.1.3.2. Interruptor digital de mosfets

Les aplicacions amb l'IoT estan pensades per enviar un número reduït de transmissions diàries. Com s'ha comentat prèviament, la tecnologia SigFox està limitada a una

quantitat de missatges de pocs bytes. Per tant, els mòduls es programen per romandre la major part del temps en repòs amb un consum energètic molt petit. Per aconseguir el mateix efecte amb els sensors externs implementats, es dissenya un circuit de mosfets que activa els sensors connectats a partir dels pins USB només quan l'usuari així ho decideixi.

L'interruptor està desactivat quan la sortida USB es troba al nivell 0. Al activar la sortida USB a nivell 1, els mosfets deixen d'estar en tall i arriba la tensió al pin positiu del sensor o dispositiu.

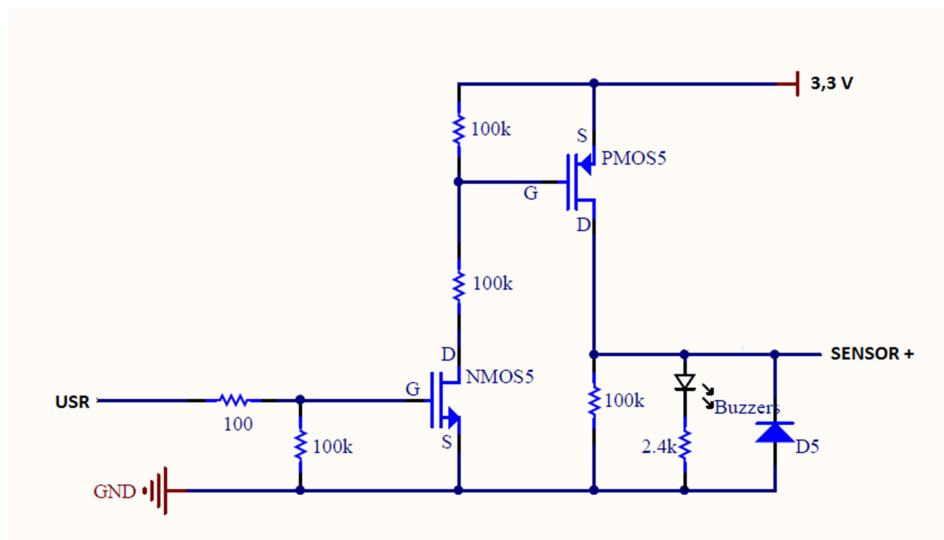


Figura 4.4 Circuit de mosfets amb Altium Designer

4.1.3.3. Antena RF

Es fa servir una antena per la transmissió via radiofreqüència en la banda ISM de 868 MHz. Destacar les següents característiques principals de l'antena:

- Impedància de 50 Ohms
- Polarització lineal i antena omnidireccional (irradia la potència de les ones de radio en totes direccions d'un pla)
- VSWR de 2,3: és la relació de la tensió d'ona màxima V_{\max} i mínima V_{\min} .
- Temperatura de funcionament: de -40°C a 80°C
- Dimensions: 52,8x17x9,6 mm



Figura 4.5 Antena RF [21]

4.2. Prototip genèric per dispositius mòbils

A diferència de l'anterior dispositiu, en aquest cas, la utilització del mòdul TD 1205 permetrà detectar moviments del dispositiu i poder localitzar-lo en les situacions requerides gràcies a l'acceleròmetre i GPS incorporats al xip. Seguint amb la comparació, a més de portar antena de radiofreqüència incorporada, les dimensions del dispositiu es redueixen notablement i el fan apte per la funcionalitat esperada. Aquests avantatges es traduiran en una opció molt interessant per les millores que pateixin variació de posicions durant el seu ús.

Com a components auxiliars es considerarà la implementació de la bateria i convertidor DC/DC vists en el prototip anterior.

Seguidament, es descriu el mòdul de partida que es disposarà pel seu disseny.

4.2.1. Mòdul Telecom Design TD1205

Com veurem a continuació, el dispositiu TD1205 conserva moltes similituds amb el ja analitzat prèviament TD1208. El motiu d'escollir aquest nou mòdul es deu bàsicament a les prestacions que ofereix. Per una banda, disposa d'un GPS i acceleròmetre incorporats al xip que permet localitzar i detectar moviments quan es requereixi. Per un altre costat, el fet de que porti també una antena integrada i de que no en requereixi d'externa, així com una disminució considerable de les dimensions del mòdul, el converteixen en un molt pràctic dispositiu per a aquelles aplicacions que impliquin un canvi de posició del prototip implementat.

Destacar les característiques compartides entre els dispositius per la tecnologia utilitzada SigFox. La banda de freqüència segueix operant en el rang ISM 868.0 – 869.7 MHz i la modulació torna a ser de tipus GFSK, 4-GFSK, GMSK i OOK. Rep una sensibilitat de -126dBm i el rang de tensió operatiu és de 2,3 a 3,3V. El processador utilitzat torna a ser un ARM Cortex M3. Té un total de 4 ports d'entrades i sortides.

En quant a consum de transmissió és lleugerament superior assolint els 95mA amb una potència de sortida de +14dB, mentre que en quant a recepció augmenta fins els 20µA.

Però el que el fan especial i diferent en relació a l'altre mòdul estudiat és la incorporació del GPS, de l'acceleròmetre i de l'antena integrats en un xip compacte que redueix les dimensions totals amb unes mides de 30x10,5x38mm.

Les connexions d'entrada i sortida del xip són:

1. Bat + o VDD: entrada positiva de la bateria a 3.3V
2. Bat - o GND: entrada negativa bateria, connexió a terra.
3. VDD: no requerida amb bateria
4. GND: no requerida amb bateria
5. RST: senyal per reiniciar el mòdul
6. TX: senyal que envia dades del mòdul al processador que es connecti
7. RX: senyal que envia dades del processador al mòdul.
8. DB2 i DB3: pin per a GPIO o temporitzador de baixa energia

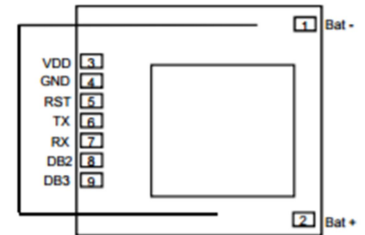


Figura 4.6. Diagrama de pins TD1205. Datasheet del TD1205. [8]

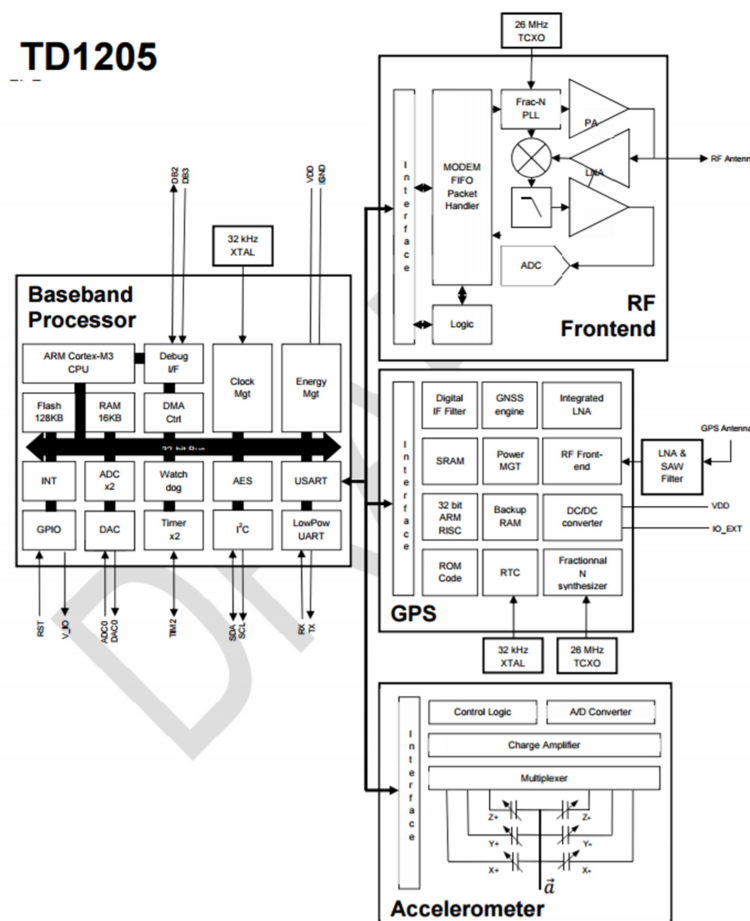


Figura 4.7 Diagrama de blocs del TD1205. Datasheet del TD1205. [8]

5. PARCMOTOR CASTELLOLÍ

El ParcMotor Castellolí és un complex dedicat al motociclisme i automobilisme, tant a nivell professional com particular, inaugurat en la seva totalitat el 7 de març de 2009 i que ocupa una superfície de 100 hectàrees, tal i com s'observa en la Figura 5.1. Disposa de diferents instal·lacions on es poden practicar un gran nombre d'especialitats: circuit de velocitat, circuit escola, circuit de karts, paintball, circuit de motocròs, zona de trial i zona de 4x4.

Situat en el municipi de Castellolí, en la província de Barcelona, a 8 km de Igualada i a tant sols 30 minuts per carretera de la ciutat comtal, és un marc idoni per a l'activitat d'esdeveniments tals com curses de competició, entrenaments d'equips, test i desenvolupament de vehicles, presentacions per marques i cursos de formació. Gràcies a aquests recursos i a la seva ubicació i comunicació s'ha convertit en un dels centres del motor més importants a nivell autonòmic i estatal.



Figura 5.1 Imatge del complex del circuit ParcMotor [9]

5.1. Història del circuit

El projecte de ParcMotor Castellolí és una iniciativa ambiciosa impulsada per la *Federació Catalana de Motociclisme* i amb el recolzament de la *Generalitat de*

Catalunya. L'objectiu inicial va ser de construir un complex esportiu global per a la pràctica i promoció del motociclisme. Oficialment, el projecte es va presentar com a tal, el 5 de novembre del 2001.

Seguint aquesta premissa, la seva construcció es va dur a terme progressivament. A mitjans de l'any 2002, es van inaugurar les seves primeres instal·lacions: un circuit de motocròs, el qual va albergar ja el primer any una prova del campionat català, una altra del campionat Espanyol i a partir del maig, va començar a acollir competicions oficials de trial. Apart d'aquestes fites, va servir per realitzar altres activitats com cursos, presentacions, entrenaments, etc. al complex.

Però va ser a l'abril del 2004 quan es va produir un dels moments més important pel parc del motor, l'inici de les obres del circuit de velocitat de primer nivell, el qual serà estudi del nostre projecte. La seva construcció es va finalitzar l'any 2009 amb la construcció dels primers boxes i amb la pista ja asfaltada i condicionada per començar a rodar.

Durant aquest llarg període, es van dur a terme dos nous projectes per la creació d'un circuit de mini motos i de supermotard i d'una escola de conducció amb la col·laboració de *Racing DC* i *Fast Parcmotor*.

Més endavant, l'any 2013, es va inaugurar el Campus Motor, una instal·lació única al servei de les empreses que fan activitat al circuit de velocitat i al karting, entre d'altres modalitats. Un espai òptim i innovador per empreses, emprenedors i professionals que s'adapta a les necessitats de les diferents marques interessades en desenvolupar i generar idees.

5.2. Instal·lacions

El complex ParcMotor Castellolí disposa actualment de les següents instal·lacions com s'observa en la figura 5.2. En aquest treball en centrarem en el circuit de velocitat.

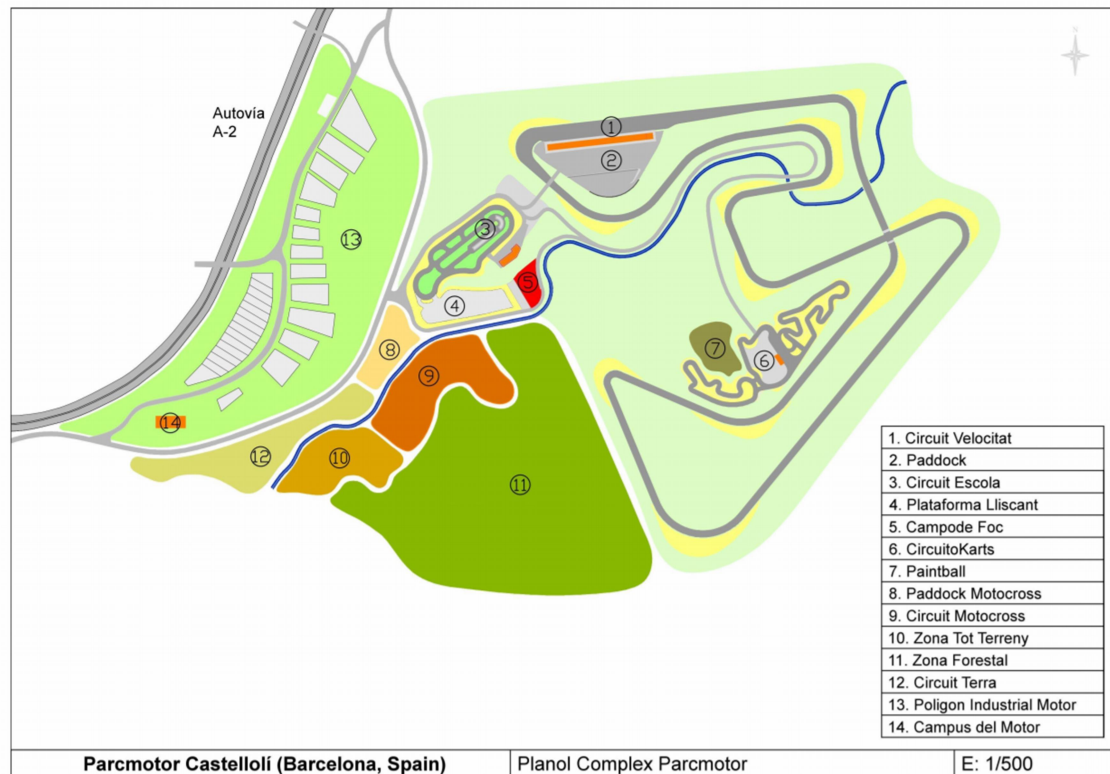


Figura 5.2 Plànol del complex ParcMotor de Castellolí [10]

5.3. Circuit de velocitat

El circuit de velocitat ocupa un total de 27 hectàrees de terreny. Té una longitud de 4.14 km i una amplada mitjana de 10 m. El pàdoc del circuit compta amb 14.000 m² i 14 boxes. Dissenyat amb l'ajuda de reconeguts pilots professionals com Carlos Checa, Alex Crivillé o Toni Elias presenta un traçat molt tècnic i revolucionari en comparació a la majoria de traçats existents a Europa. Compta amb importants desnivells tant de pujada i de baixada amb rampes que assoleixen pendents del 9% i un pont que li confereix una personalitat única, creuant el circuit en dos nivells i donant-li forma de vuit.

Homologat per la *Federació Internacional de Motociclisme i Automovilisme*, la pista està concebuda per a què tant els pilots de motos com de cotxes explotin al màxim les seves habilitats i potència dels respectius vehicles.

El pàdoc està dividit en dos zones, disposa actualment de 14 boxes amb lavabos i dutxes individuals i d'un pit lane. L'accés a aquest es du a terme per la porta principal d'entrada i per mitjà d'un pont, que comunica la porta amb el pàdoc.

Les activitats a realitzar al circuit són del més variades i mobilitzen tant a empreses com a aficionats. L'enfocament de la pista de cara al futur estarà més orientada i pensada a la realització de tests i proves per part d'empreses amb la construcció del Campus Motor. No obstant, es possible accedir-hi per rodar tandes de moto i cotxe. Actualment, hi ha un total de 10 organitzadors de tandes per a motos i un total de 2 per a cotxes. Un dia de tandes oscil·la els 110€ amb un extra de 20€ d'assegurança pels no federats, preu molt inferior al equivalent al circuit de Montmeló.

En resum, les característiques tècniques del circuit són les següents:

- Longitud total de la pista: 4.146m
- Amplària de la recta de sortida: 14m
- Amplària de la resta del circuit: 12m
- Corbes a la dreta: 7
- Corbes a l'esquerra: 4
- Pendent màxim en pujada: 8,79%
- Pendent màxim en baixada: 8,09%
- Radi màxim corba per eix: 100
- Radi mínim corba per eix: 30
- Superfície total pàdoc 14.000 m²
- Superfície boxes: 2.400 m²
- N° boxes (actuals): 14
- Superfície total pitlane 3.500 m²

En relació al recorregut del circuit i que més endavant s'analitzarà en detall, podem apreciar que es tracta d'una pista molt tècnica amb corbes pronunciades i desnivell considerable. Només finalitzar la recta de meta, els pilots afronten una pujada amb una sèrie de corbes enllaçades que es caracteritzen perquè es creua pel túnel que separa el tram de pujada i de baixada. Seguidament, s'arriba a un punt crític, el gir més lent del circuit 4, que continua amb la recta posterior on s'assoleixen les velocitats puntes i acaba amb un altre punt crític, una frenada en baixada molt forta 6. A partir d'aquí, el circuit segueix amb moltes corbes tècniques de pendent descendent fins arribar de nou a la recta principal.

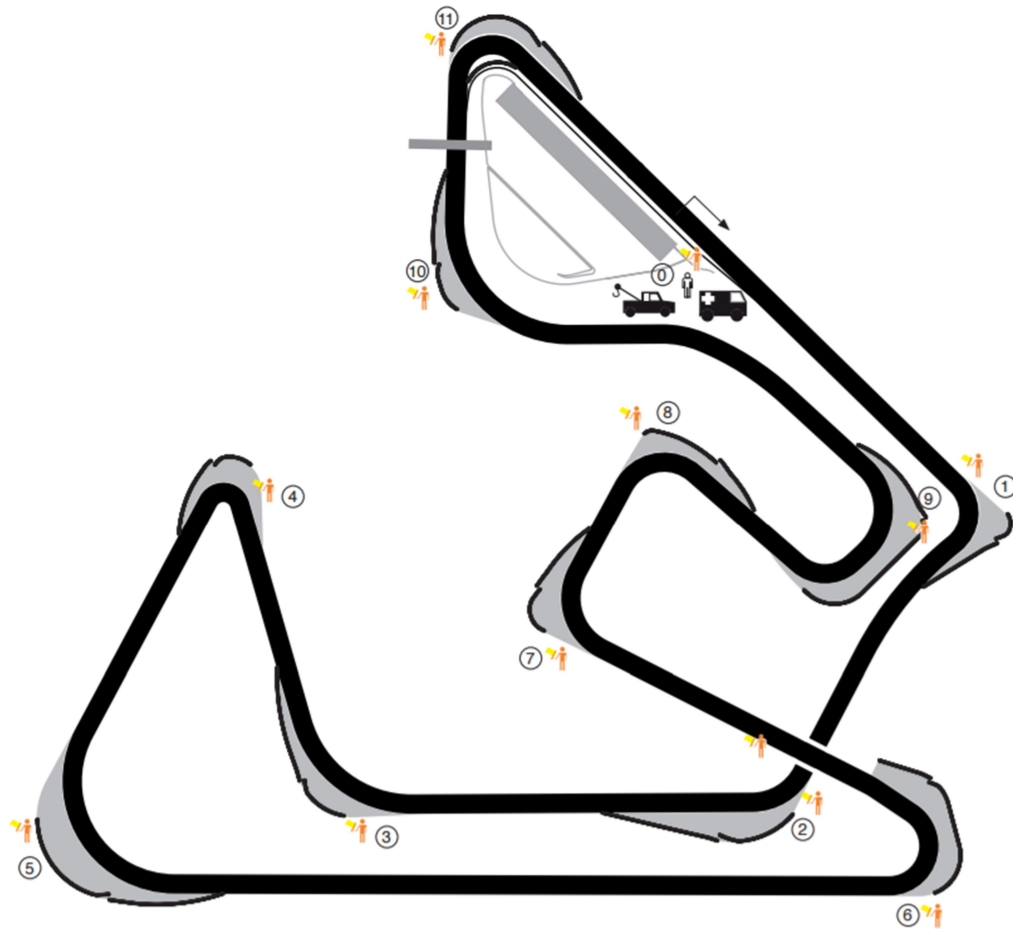


Figura 5.3 Plànol del circuit de velocitat [10]

5.4. Normativa instal·lacions ParcMotor

Abans de conèixer quines millores ofereix l'Internet de les Coses al circuit de velocitat de Castellolí, cal tenir molt present la normativa vigent del ParcMotor [10] per poder adequar les solucions proposades als requisits de les instal·lacions:

El circuit es troba en funcionament tots els dies de la setmana. L'horari d'apertura al pàdoc és a partir de les 8h del matí i està totalment prohibit pernoctar a les instal·lacions sense servei de seguretat nocturna. Com actualment el circuit no disposa de lluminària, no es contempla l'opció de poder rodar de nit.

Està prohibit fumar als boxes i pit lane. Tampoc es pot accedir amb animals al pàdoc.

Està prohibit circular sense assegurança, sense serveis mèdics i sense controladors de pista. Serveis mínims (veure figura 5.3.):

- Ambulància i 2 infermers. Recomanat, mèdic i cotxe de rescat.
- Mínim, 6 controladors de pista: C0, C4, C5, C6, C8, C12. Recomanat, 12 controladors de pista, un per corba.

Està prohibit aturar el vehicle en la pista i sortir d'ell.

Està prohibit caminar pel circuit i per l'àrea del pit lane sense permís.

La velocitat màxima al pàdoc i pit lane és de 20 km/h. És obligatori l'ús del casc i cinturó de seguretat i queda prohibit exhibicions a pista.

No està permès accedir a pista a menors de 16 anys que no disposin de llicència federativa.

Tampoc està permès córrer, escalfar o qualsevol exhibicionisme al pàdoc i als accessos del circuit. L'any 2010 un nen de 7 anys va perdre la vida al caure del pont que dóna accés al pàdoc.

És responsabilitat dels equips retirar de les instal·lacions els pneumàtics usats, així com dipositar l'oli en el lloc designat.

El circuit no es fa responsable dels accidents i danys que pateixin els usuaris i vehicles dins de les instal·lacions.

S'ha de respectar en tot moment el sentit gir al circuit (en el sentit de les agulles del rellotge)

S'han de respectar les indicacions del personal del ParcMotor i el codi de banderes en tot moment:

- Bandera verda: via lliure
- Bandera groga: màxima precaució, alentir velocitat i prohibit avançar.
- Bandera vermella: sessió parada.
- Bandera amb ratlles grogues i vermelles: obstacles, oli o pista relliscosa.
- Bandera blanca: vehicle lent a la pista
- Bandera negra: retornar als boxes
- Bandera a quadres: la sessió a finalitzat oficialment

Els vehicles no han de tindre fuites de fluids o despreniment de peces. Els pneumàtics han d'estar en bona condició i la pressió correcta. Tots els sistemes de seguretat han de funcionar degudament.

Normativa acústica del circuit. Per a motos, màxim 102 dB a 6.000 rpm. Per a cotxes, màxim 95 dB a 3.000 rpm.

6. PROPOSTES DE SENSORITZACIÓ AMB L'IOT EN EL CIRCUIT DE VELOCITAT

6.1. Mesura de la temperatura i humitat de la pista

6.1.1. Plantejament del problema

El municipi de Castellolí i en concret, el circuit de velocitat, està ubicat en una zona boscosa. La precipitació al municipi és significativa, amb precipitacions inclòs en els mesos més secs. La temperatura mitja i precipitació anual és de 14.1°C i 644mm respectivament.

En la següent figura 6.1, es mostren les temperatures i precipitacions mensuals. El mes més sec és en juliol amb 32 mm de pluja, mentre que el més humit és en setembre amb 74. Per altra banda, el mes més càlid és a l'agost amb 22,4° de mitja i el més fred al gener amb 6.8°.

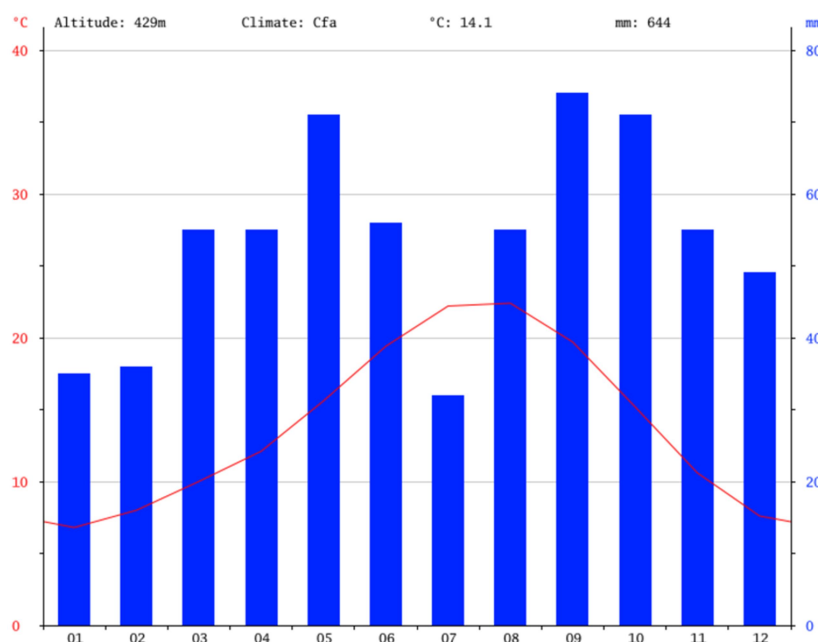


Figura 6.1 Climograma de Castellolí [11]

Durant els 4,15 km de recorregut del circuit, la pista pateix diferents situacions climatològiques que disten en funció del punt d'estudi i les condicions de la pista. Hi ha zones més ombries i d'altres més càlides. A més, la dificultat tècnica afegida que

ofereix el circuit amb desnivells pronunciats i corbes enllaçades, implica la necessitat de conèixer en quines condicions es roda al circuit en tot moment.

Per tal de facilitar tota la informació als responsables i pilots del circuit de manera que es pugui extremar la precaució i afavorir les mesures de seguretat oportunes, s'ha pensat en la col·locació de sensors, tant de temperatura com d'humitat, en les zones més crítiques del traçat de forma que estiguin repartides equitativament al llarg del recorregut.

6.1.2. Dispositiu fix amb sensor de temperatura i humitat

Es connectarà al dispositiu fix implementat prèviament, un sensor de temperatura i un sensor d'humitat compatibles amb les característiques dels components del prototip i que cobreixin les necessitats de l'estudi requerit.

6.1.2.1. Sensor de temperatura

Un sensor de temperatura és un dispositiu que transforma canvis de temperatura en senyals elèctrics. Existeixen dos mètodes de detecció, amb o sense contacte. Els primers seran d'utilitat per la proposta aplicada. Són sensors que es troben en contacte físic amb un objecte per mesurar la temperatura de sòlids o líquids. Aquests acostumen a estar formats pel sensor, l'embolcall de material molt conductor i els cables o forats passants per connectar al mòdul.

Hi ha molt tipus de sensors de temperatura. Els més comuns són: els termistors, els detectors de temperatura de resistència (RTD) i els termoparells.

- Termistor: basat en el comportament de la resistència de semiconductors de ceràmica tals com òxids de cobalt, de magnesi o de níquel amb el canvi de temperatura. Existeixen termistors de tipus NTC (disminueix la resistència al augmentar la temperatura) i de tipus PTC (augmenta la resistència al augmentar la temperatura). Millor velocitat de resposta amb canvis de temperatura (sensibilitat de $200\Omega/^{\circ}\text{C}$) i una precisió molt elevada però menys linealitat i un rang de temperatures fins als 300°C .

- RTD: basat en la variació de resistència d'un conductor, normalment platí o coure, amb la temperatura. Són molt comuns degut a que tenen millor linealitat, rapidesa i rang de temperatures (-200-650 °C)
- Termoparell: a partir de dos metalls es produeix una petita diferència de potencial. Aquesta tensió es genera a partir de la diferència de temperatura entre les dos unions i es coneix com l'efecte Seebeck. Té un rang de temperatures superior i una ràpida resposta a canvis de temperatura però no es tant precís en comparació amb els altres.

Per avaluar la temperatura d'una superfície tal com la pista del circuit de velocitat, es presenta el sensor JS6862. És un sensor termistor NTC dissenyat per calcular temperatures a la superfície gràcies a que incorpora adhesius sensibles a la pressió que proporcionen una alta conductivitat tèrmica des de la font de calor fins el termistor. El fet de que la connexió amb el mòdul es faci per cable representa una avantatge ja que permet col·locar-lo en el lloc òptim. No obstant, com la majoria de sensor de temperatura, estan dissenyats per ambients secs i no pensats per condicions externes de vent, pluja o llum solar. Per tant, cal pensar una solució pel correcte funcionament d'aquests sensors.

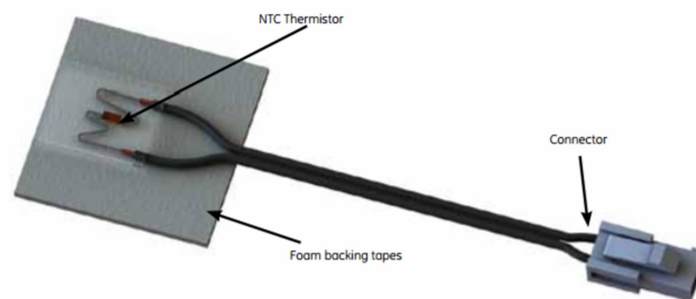


Figura 6.2 Termistor NTC JS6862 [12]

6.1.2.2. Sensor d'humitat

La humitat es relaciona amb la quantitat d'aigua present en l'ambient o en un cos. Es presenta a nivell molecular i es relaciona amb la quantitat de molècules d'aigua en una determinada substància.

Els sensors d'humitat són dispositius que mesuren la humitat relativa d'una àrea amb la detecció de variables químiques o físiques. S'utilitzen tant en interiors com exteriors i

poden ser analògics o digitals. S'entén per humitat relativa a la relació entre la pressió parcial de vapor actual i la pressió de vapor saturat.

$$H_r = \frac{P_v}{P_{sat}} \times 100 [\%]$$

Existeixen diversos tipus de sensors per calcular la humitat:

- Sensors mecànics, basats en canvis dimensionals de certs materials entre els que destaquen les fibres orgàniques i sintètiques com el cabell humà.
- Sensors per condensació, condensen el vapor fins arribar a la temperatura de rosada.
- Sals higroscòpiques, a partir d'una molècula cristal·lina que absorbeix l'aigua.
- sensors electrolítics, mesuren la corrent generada per electròlisi de l'aigua.
- Sensors per conductivitat, circula un corrent en una superfície amb presència d'aigua.
- Sensors capacitius, basats en el canvi que pateix la capacitat d'un condensador al variar-li la constant dielèctrica.
- Sensors infrarojos, a partir de la radiació absorbida es mesura la quantitat d'aigua present.
- Sensors d'humitat del terra, a partir de la conductivitat de la terra col·locant dos elèctrodes separats.

Per aquests sensors, és molt important el calibratge i alhora d'escollir el sensor caldrà assegurar que vingui garantit. Canvis de temperatura, pressió o contaminants com la pols poden afectar a les mesures obtingudes pel fet d'estar a la intempèrie.

Degut al baix cost i l'alta fidelitat dels sensor capacitius s'ha analitzat la família de sensors SHT7x. Amb calibratge intern, una tensió d'alimentació entre 2,4 i 5,5 V i un baix consum de 0,55mA en l'execució de les mesures, el converteixen en un candidat ideal per la proposta plantejada. No obstant caldrà protegir el sensor amb condicions meteorològiques adverses. Per aquesta raó, la decisió final es basarà en un dispositiu capaç de funcionar a l'exterior que inclogui aquest tipus de sensor capacitiu i a més, incorpori un sensor de temperatura per calcular les dos variables de l'estudi.

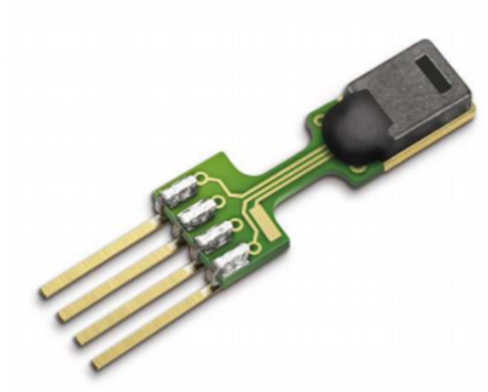


Figura 6.3 Sensor humitat capacitiu SHT7x [13]

6.1.2.3. Sensor de temperatura i humitat T9602

El dispositiu T9602 és un sensor de temperatura i humitat completament calibrat que funciona amb una precisió d'humitat relativa de $\pm 2\%$ des del 20% al 80% i de $\pm 0,3^\circ\text{C}$. Resistent a l'aigua i fiable en ambients desfavorables gràcies a la protecció que l'envolta, pot muntar-se sobre qualsevol superfície per mitjà de la subjecció al terra tal com s'observa en la figura 6.4.

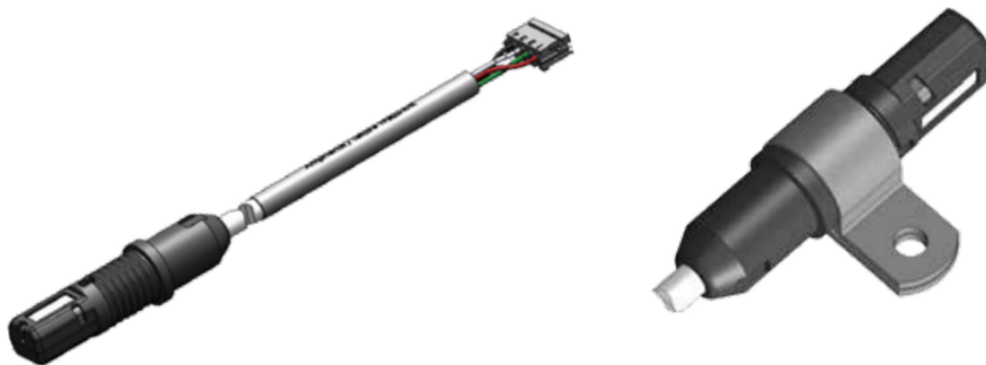


Figura 6.4 Sensor temperatura i humitat T9602 [14]

El rang de temperatures del dispositiu operatiu es semblant al del mòdul TD1208 on anirà connectat i oscil·la entre els -20 i 70°C . Destaca també, el baix consum de corrent en mesures de l'ordre de $0,75\text{ mA}$.

El mateix dispositiu disposa de diferents models que el fan encara més atractiu. Això permet l'elecció d'una tensió de subministrament de $3,3\text{ V}$ i sortida analògica, idoni per la connexió amb el mòdul de transmissió de dades implementat. El fet de que disposi de connexió per cable de longitud d'1m serveix per col·locar els nostres sensors en el lloc d'interès que es busca.

Està pensat per multitud d'aplicacions pensades en l'estalvi energètic i el procés de control i instrumentació.

Per últim, destacar en la figura 6.5 la designació dels 4 cables de connexió del dispositiu analògic: la tensió de subministrament (V+), el terra (Ground) i les sortides analògiques (PDM RH i PDM Temp).

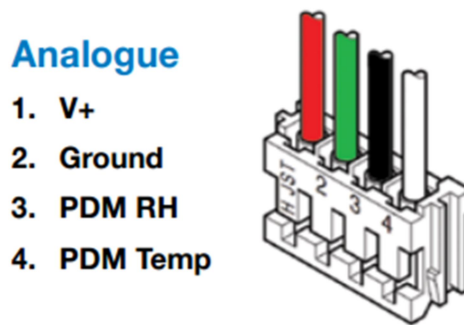


Figura 6.5 Connexions del sensor T9602 [14]

6.1.3. Implementació de la solució

6.1.3.1. Ubicació i instal·lació

Primerament, amb els components seleccionats, cal precisar com s'ubica el dispositiu a implementar. Per aprofitar les prestacions que ens ofereix el xip, s'habiliten tant el sensor de temperatura com d'humitat per a cada dispositiu. És una informació que interessa que es rebi conjuntament i pugui ser d'utilitat pels participants del circuit.

Aquests sensors van instal·lats sobre la superfície de la pista del circuit i es comuniquen amb el dispositiu fix que conté el mòdul TD1208. Al no poder-se col·locar directament sobre el circuit, es reproduirà les mateixes condicions de l'asfalt fora dels límits del traçat i concretament, en l'extrem oposat a la traçada dels vehicles per evitar possibles sortides de pista que impactin amb el dispositiu.

La seva col·locació es distribueix equitativament entre els diferents sectors del circuit per tal de tindre una visió global de l'estat i condicions de la pista al llarg del seu recorregut. Un cop analitzats els punts més crítics del traçat, s'arriba a la conclusió de que calen un total de 5 dispositius amb els seus respectius sensors per aconseguir el propòsit de la millora.

Seguint el sentit de gir del circuit, el primer dispositiu va col·locat sota el pont que creua el circuit, just abans d'entrar en la corba 2 i en la secció 1 del circuit. És la zona més ombrívola del recorregut que queda completament tapada durant el dia. En aquest punt, s'espera assolir els nivells més baixos de temperatura i màxima humitat. A més, ve precedit d'una corba ràpida ja que posteriorment, s'inicia el tram amb més pendent del circuit.

Més endavant, just començar el sector 2, el següent dispositiu s'instal·la en l'entrada de la corba 4, la més lenta del circuit i que s'agafa en baixada. Al reduir a marxes tant curtes, és fàcil perdre el tren posterior en el cas d'una moto i cal extremar les precaucions si les condicions de la pista no són les idònies.

Seguint en el mateix sector, superada la recta posterior més llarga del circuit, s'arriba a la frenada més forta en baixada del traçat, la corba 6. En aquest punt, és imprescindible col·locar un altre dispositiu. No només interessa per la dificultat tècnica que comporta el tram sinó perquè ens trobem en el lloc on hi arribarà la llum solar en última instància degut a que la sortida del sol queda tapada per les muntanyes del darrere. Per tant, s'experimentaran les majors variacions de les condicions de la pista en el transcurs del dia.

Finalment, els dos últims dispositius van instal·lats en el sector 3 del circuit. Per una banda, el primer es situa en el tram ja de baixada del recorregut entre la corba 7 i 8, una de les zones més tècniques del circuit ja que s'enllacen varies corbes seguides i perquè permet conèixer les diferències respecte el dispositiu anterior. Per l'altre costat, l'últim aparell es col·loca en l'entrada de la corba a meta, la número 11. És la zona que primer s'escalfa i on s'assoleixen més aviat temperatures altes, així com un dels racons més secs i allunyats de la part boscosa.

En el següent plànol s'indica la ubicació dels cinc sensors repartits pel circuit:

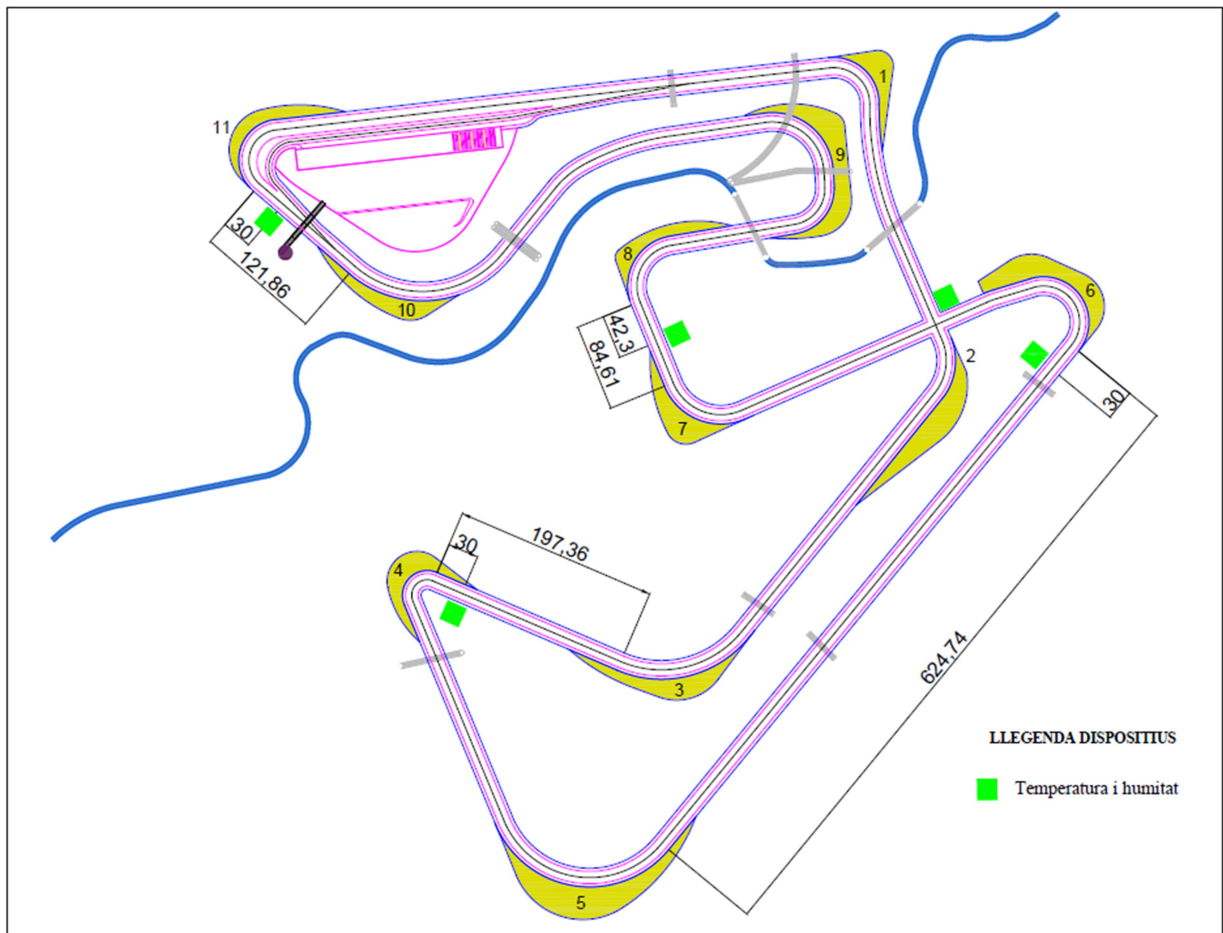


Figura 6.6 Plànol d'AutoCAD del circuit de velocitat. Inclou sensors de temperatura i humitat.
Elaborat en base al plànol facilitat per SERPRO

6.1.3.2. Funcionament de l'aplicació

La implementació del dispositiu es realitza de manera que s'enviïn dades només quan es programi que entri en funcionament. La gran part del temps romandrà en repòs per estalviar el màxim de consum possible, tant el mòdul programant-lo com els sensors gràcies a l'interruptor digital implementat.

Les condicions climatològiques de la pista són d'interès únicament durant el desenvolupament de les proves. Actualment, l'horari d'apertura del circuit és de 8h del matí fins a les 18h de la tarda, podent-se allargar el tancament de les instal·lacions fins a una hora extra en algunes situacions. Per tant, l'aplicació dissenyada comença a treballar en l'interval indicat.

Per tal d'aconseguir una precisió de manera actualitzada en les mesures efectuades i tenint present en tot moment les possibilitats de transmissió de dades que ens ofereix el

mòdul seleccionat (fins a 140 missatges), s'emet la informació captada pels dos sensors de temperatura i humitat en intervals de 15 minuts.

D'aquesta manera, el mòdul entra en activació en aquests períodes que no superaran els 30 segons, habilitant els sensors conseqüentment. Això, suposa un total de 40 missatges diaris per dispositiu i un total de 200 missatges pel conjunt de la solució.

Finalment, totes aquestes dades obtingudes es reporten per una banda als responsables del circuit per prendre les mesures oportunes i enregistrar les dades més significatives, i també als participants de les proves i tests per mitjà d'una pantalla informativa col·locada als boxes que s'actualitza constantment.

6.1.3.3. Consum energètic

Per a cada proposta es farà un estudi del consum energètic que implica l'aplicació. A partir de les fitxes tècniques de les bateries, dels sensors i dels mòduls proporcionats pel proveïdor corresponent, es valorarà el consum total del dispositiu en funció dels esdeveniments ocorreguts i es calcularà la durada total de la bateria.

Aclarit aquest aspecte, a continuació es comenten els esdeveniments que es duren a terme en la mesura de la temperatura i humitat de la pista:

- Repòs: ocupa casi la totalitat del temps emprat amb un consum mitjà de 1.8 μ A.
- Transmissió de dades: en aquest bloc, es consideren els esdeveniments de transmissió d'alarmes de temperatura i humitat. Cada 15 minuts, el mòdul TD1208 emet una transmissió amb una durada de 10 segons. L'activació del mòdul (3 mA) i el consum de transmissió (32mA) computen el consum total. El dispositiu emet un total de 40 transmissions.
- Sensor temperatura i humitat: té un temps màxim de resposta d'1 segon i un consum d'intensitat de 0,75 mA

Coneixent les durades dels esdeveniments i el número total d'aquests podem calcular la durada diària que implica cada succés.

$$Duració \frac{\text{esdeveniment}}{\text{dia}} (s) = \text{dura} \quad \text{o} \quad \text{esdeveniment}(s) \times n^{\circ} \text{ esdeveniments}$$

$$Duració_{\frac{repòs}{dia}}(s) = 86400(s) - \sum Duració_{\frac{esdeveniment}{dia}}$$

Esdeveniment	Consum esdeveniment (μA)	Duració esdeveniment (s)	Número d'esdeveniments	Duració total diària (s)
Dormint (en repòs)	1,8	-	-	86.000
Transmissió dades	35.000	10	40	400
Activació mòdul	750	1	40	40

Taula 6.1 Mesures del TD1208 amb sensor de temperatura i humitat

A partir de les dades de la taula 6.1 podem calcular el consum mitjà del dispositiu en μA:

$$Consum \text{ mitjà } (\mu A) = \frac{\sum Consum \text{ esdeveniment } (\mu A) \times duració_{\frac{esdeveniment}{dia}}(s)}{86400 (s)}$$

Per calcular la durada de la bateria en hores, cal calcular de nou el consum dels esdeveniments que han convertit la tensió de la bateria de 9 V per poder treballar amb un convertidor reductor d'eficiència del 87%:

$$Consum (\mu A) = \frac{Tensió \text{ convertida } (V) \times Consum \text{ esdeveniment } (\mu A)}{Tensió \text{ bateria } (V) \times \eta \text{ convertidor } [\%]}$$

Calculant novament el consum mitjà i partint d'una capacitat del conjunt de bateries de 2,4 Ah s'obté:

$$Duració \text{ bateria } (h) = \frac{capacitat \text{ bateria } (\mu Ah)}{Consum \text{ mitjà } (\mu A)}$$

Finalment com a estimació d'interès podem calcular el número de transmissions totals que es pot realitzar amb la mateixa bateria:

$$\frac{n^o \text{ transmissions}}{bateria} = \frac{n^o \text{ transmissions}}{dia} \times duració \text{ bateria } (dies)$$

Aplicant les diferents fórmules, s'obté:

Consum mitjà al dia (µA)	69,21
Duració bateria (h)	34.678
Duració bateria (anys)	3,96
Número transmissions	57.797

Taula 6.2 Valors de consum del TD1208 amb sensor de temperatura i humitat

6.2. Mesura del nivell acústic

6.2.1. Plantejament del problema

Tot i que el ParcMotor està ubicat en una zona rural, la població de Castellolí es troba a tant sols 1 km de les instal·lacions del circuit. De fet, els habitatges més properes amb restaurant inclòs, es troben a menys de 500 m de la recta principal del circuit. Una zona on s'assoleixen nivells de soroll elevats degut a que els vehicles es revolucionen i de manera pronunciada al llarg de la totalitat de la recta.

Per tal d'evitar queixes i inconvenients amb els veïns de la zona, la normativa acústica del circuit de velocitat recentment estableix un límit màxim de 102dB a 6.000 rpm per a motos i de 95 dB a 3.000 rpm per a cotxes. En cas de no complir-se aquests requisits el ParcMotor pot decidir denegar l'accés al vehicle corresponent.

El decibel (dB) és una unitat logarítmica, adimensional i matemàticament escalable que expressa la relació entre dos potències. Per tant, un guany de 3dB significa que la potència de sortida serà el doble que la d'entrada. És a dir, l'equivalent de soroll a 6.000 rpm en les motos és de l'ordre de 5 cops superior al soroll a 3.000 rpm en els cotxes. La fórmula matemàtica que determina el càlcul dels decibels en funció de la potència és la següent:

$$L_w = 10 \times \log \frac{W_1}{W_{0(dB)}}$$

Amb l'objectiu de complir amb les exigències del circuit, es necessari un control rigorós i exhaustiu de la contaminació acústica. El llindar del dolor comença a partir dels 120 dB. Amb aquesta intenció, es dissenya un dispositiu capaç de mesurar i reportar els nivells acústics superiors a la normativa definida. Amb aquest propòsit, no només es pretén controlar que no es superen els límits marcats, sinó que es vol quantificar la contaminació acústica diària al circuit i registrar-la apropiadament.

6.2.2. Dispositiu fix amb sensor acústic.

A continuació es seleccionen els sensors compatibles amb el dispositiu fix que incorpora el mòdul TD1208 per implementar la millora establerta.

6.2.2.1. Sensor acústic

El so viatja a una velocitat de 343 m/s en forma d'ones acústiques per mitjà de l'aire. A partir de sensors acústics es processa i analitza aquest so. La seva intensitat ve determinada per la potència acústica, quant major sigui, la longitud d'ona serà menor i la freqüència major.

Les ones acústiques s'originen per variacions de pressions i els sensors les transformen en polsos elèctrics amb una freqüència corresponent. Per exemple, l'oïda humana percep un rang de freqüències d'entre 20Hz i 20kHz.

Tenint present aquestes consideracions, els sensors acústics detecten aquestes pressions d'ones omnidireccionals en un angle de 70° per mitjà de micròfons. Un micròfon és un transductor que converteix les ones sonores en senyals elèctriques. Es poden distingir dos de dos tipus: els piezoelèctrics i els capacitius.

- Sensor piezoelèctric: disposa d'un diafragma que vibra amb les ones acústiques. Aquest, deforma un material, generalment cristall, a partir de les vibracions i genera una tensió elèctrica amb una freqüència i amplitud en funció de l'ona. Té l'inconvenient que la qualitat del sensor és pitjor a la intempèrie.
- Sensor capitiu: format per dos plaques i una càrrega elèctrica en mig, disposa d'una membrana que al fer vibrar una de les plaques produeix una ona de voltatge. No requereix d'alimentació i no li afecta ni la humitat ni la temperatura. És el més utilitzat.

Degut al baix voltatge de sortida que subministra cal amplificar el senyal elèctric abans de connectar-lo al nostre mòdul per registrar correctament les dades del sensor.

En el cas d'estudi actual, interessa fer-ne ús de sensors capacitius que allarguin la durabilitat i qualitat del dispositiu. Existeixen moltes plaques en el mercat que engloben

aquest tipus de sensors i condicionen els senyals produïts amb preus molt econòmics. Es farà menció de dos tipus de plaques que presenten característiques d'interès:

Per una banda, existeix la placa KY-038 que incorpora micròfon i comparador LM393 permetent obtenir lectures analògiques i digitals. La sortida digital s'empra per detectar quan un soroll supera un llindar predeterminat per l'usuari gràcies a un potenciòmetre. La sortida analògica calcula una estimació del volum registrat però no és acurada degut a que es fa amb una escala logarítmica per la manca d'amplificació. Com interessa conèixer les mesures del sensor, es descartarà aquesta opció.

L'altre sensor analitzat, el CJMCU-4466 incorpora un amplificador de so MAX4466 que tracta les senyals provinents de micròfons amb un guany ajustable de 25 a 125 dB. El model té una tensió d'alimentació d'entre 2,4 a 5 V amb la que podrem connectar-lo al mòdul TD1208 a una tensió de 3,3V i establir allà el llindar de soroll que interressi. Com en la majoria de tensions en contínua connectades, es desacoblarà el nivell amb un condensador de 100nF.

L'esquema de muntatge és molt senzill amb 3 pins. Es connecta la placa al terra GND i a la tensió de 3,3 V. Per últim, la sortida analògica del sensor anirà a la sortida analògica del TD1208. En la següent figura es representa l'esquema:



Figura 6.7 Sensor acústic CJMCU-4466

6.2.3. Implementació de la solució

6.2.3.1. Ubicació i instal·lació

Aquesta proposta té com a objectiu recollir les dades de contaminació acústica generades en l'entorn del circuit i mostrar alertes en cas d'una pràctica inapropiada amb la política del ParcMotor.

Per aconseguir els resultats esperats, és recomanable i suficient la instal·lació de dos dispositius amb sensor acústic. Aquests, estarien disposats en les dues rectes principals del circuit: la recta de meta i la recta posterior més llarga del circuit. Les dues zones reben una gran quantitat de soroll podent arribar a prop dels pics permesos per la normativa i de manera ininterrompuda durant un període de temps considerable de fins a 10 segons en la recta posterior.

El fet de que s'assoleixin valors tant elevats de forma contínua, però també la localització d'aquestes dues rectes que estan situades en els dos extrems oposats del circuit, contribueixen a que la seva col·locació sigui la idònia per obtenir dades qualitatives.

A continuació, es representen els dos sensors implementats en les rectes principals del circuit:

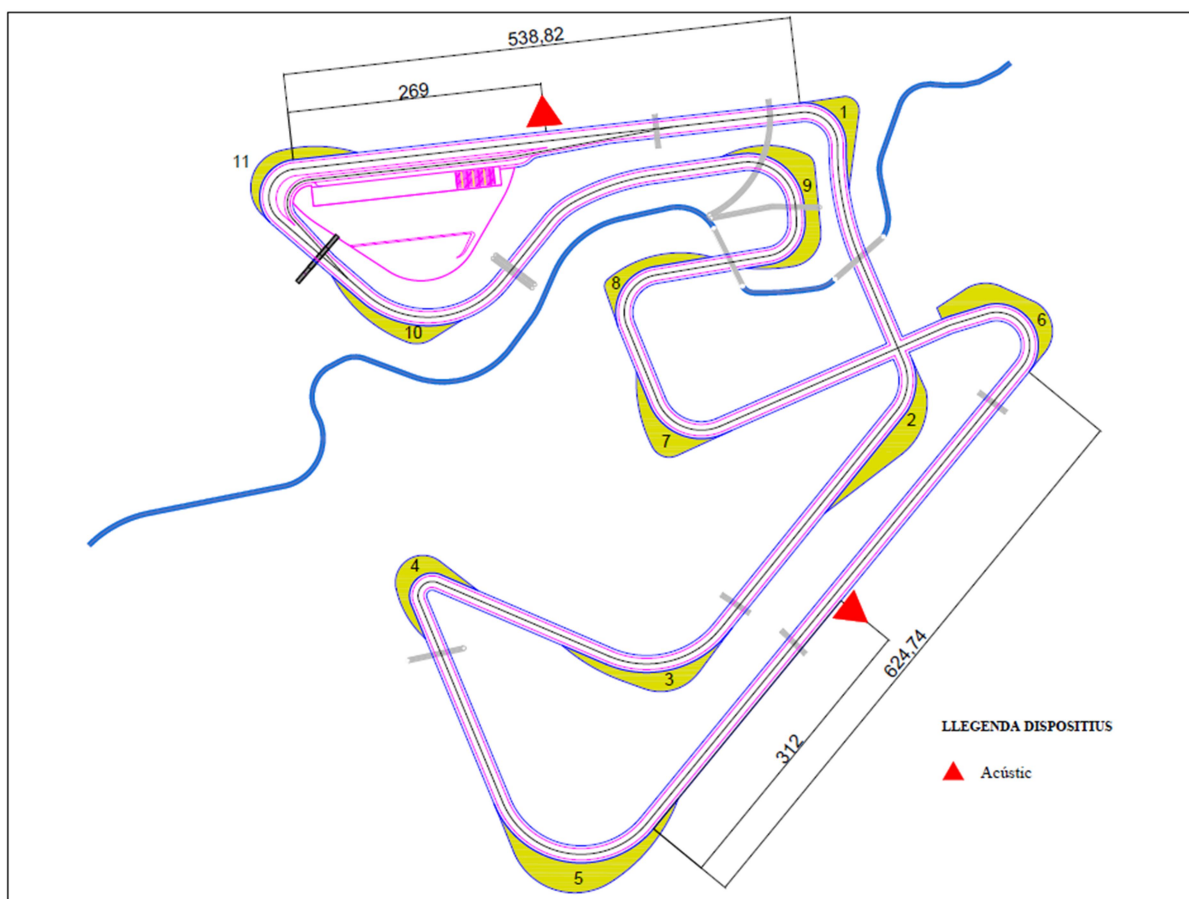


Figura 6.8 Plànol d'AutoCAD del circuit de velocitat. Inclou sensors acústics.
Elaborat en base al plànol facilitat per SERPRO

6.2.3.2. Funcionament de l'aplicació

Novament, el dispositiu roman en repòs el temps en el que les instal·lacions estan tancades, és a dir, de 19h de la tarda fins a les 8h del matí. Amb l'interruptor digital s'aconsegueix també que el sensor estigui apagat. No obstant, durant el transcurs del dia el funcionament serà una mica diferent.

En aquest cas, interessa que el sensor estigui en funcionament durant la totalitat de les proves per poder registrar tots aquells valors recollits que superin els llindars establerts en la programació del dispositiu. Pel cas del mòdul, només està operatiu el temps d'execució de les alertes. En total, s'identifiquen quatre tipus d'alerta:

- Alerta groga: s'ha superat el llindar de 95dB dels cotxes. Degut a que les motos tenen un límit establert superior no és considerat una incidència greu. Alerta vermella: s'ha superat el llindar de 102dB de les motos.
- Alerta negra: s'ha superat el llindar del dolor establert en 120dB.
- Alerta blava: no s'ha produït cap alerta anterior en una durada d'una hora.

Per evitar un excés de transmissió de dades, es limita el nombre d'alertes grogues a 3 alertes/hora. El missatge final ha d'incloure no només el tipus d'alerta, sinó també els decibels corresponents.

Les alarmes transmeses s'envien a la xarxa i es fan arribar als responsables del circuit perquè es puguin adoptar les mesures oportunes, així com registrar totes les incidències ocorregudes diàriament.

6.2.3.4. Consum energètic

A continuació es comenten els esdeveniments que es duren a terme en la mesura del nivell acústic del circuit:

- Repòs: ocupa casi la totalitat del temps emprat amb un consum mitjà de 1.8 μ A.
- Transmissió de dades: es consideren els esdeveniments de transmissió d'alarmes que superin els llindars acústics. Es calcula una mitjana de 1 alerta/hora i un total de 11 alertes/dia. El consum del mòdul TD1208 total és de 35 mA per esdeveniment amb una durada de 10 segons.

- Sensor acústic: es calculen un total de 20 mesures/hora amb un consum màxim de 0,5 mA i una durada d'1 segon per esdeveniment.

Amb aquests valor s'obté la següent taula:

Esdeveniment	Consum esdeveniment (μ A)	Duració esdeveniment (s)	Número d'esdeveniments	Duració total diària (s)
Dormint (en repòs)	1,8	-	-	86.290
Transmissió dades	35.000	10	11	110
Activació mòdul	500	1	220	220

Taula 6.3 Mesures del TD1208 amb sensor acústic

Aplicant les fórmules vistes en l'apartat 6.1.3.3, es pot trobar la relació amb els següents consums i duracions:

Consum mitjà al dia (μA)	20,07
Duració bateria (h)	119.581
Duració bateria (anys)	13,65
Número transmissions	54.808

Taula 6.4 Valors de consum del TD1208 amb sensor acústic

6.3. Detector de lluminositat als boxes

6.3.1. Plantejament del problema

Actualment, el pàdoc del circuit disposa d'un total de 14 boxes agrupats en quatre compartiments. A cada box hi ha connectats tres fluorescents distribuïts linealment en la seva llargària com s'observa en la figura 6.9. Això comporta un subministrament total de 42 lluminàries.

Amb el circuit en ple funcionament, tots els boxes ocupats tenen els llums encesos ja hi hagi més o menys visibilitat al seu interior per poder treballar en les condicions òptimes. No és d'estranyar llavors, que a l'hora de concloure la sessió del dia i restant bona visibilitat a l'exterior, no s'apaguin tots els llums adequadament.

Per tal d'estalviar energia, es proposa la instal·lació d'un dispositiu que detecti que tots els llums de cada compartiment estan apagats durant el temps que les instal·lacions romanen tancades. La aplicació enviaria missatges cada cop que algun llum quedés encès en les hores programades.



Figura 6.9 Imatge de l'interior dels boxes

6.3.2. Dispositiu fix amb sensor de llum

Partint del prototip fix amb el mòdul TD1208, s'inclourà com a suport físic un sensor extern de lluminositat.

6.3.2.1. Sensor fotoelèctric

Un sensor fotoelèctric o fotocèl·lula és un dispositiu electrònic que permet detectar llum davant canvis d'intensitat. El sensor més comú degut a la reduïda mida, baix cost i potència i fàcil implementació és la fotoresistència o LDR.

Es tracta simplement d'una resistència de la qual el valor resistiu ve modificat en funció de la quantitat de llum il·luminada. Concretament, aquest valor disminueix quan augmenta la llum incident, i viceversa. No obstant, són molt inexactes. Cada fotocèl·lula funcionarà lleugerament diferent sota les mateixes condicions. Per aquesta raó, no es pot determinar amb exactitud ni els nivells d'il·luminació o lux, ni la intensitat lluminosa o candela.

El propòsit d'aquest estudi ve determinat per canvis bàsics de llum, és a dir, diferenciar si els llums estan encesos o apagats, i per tant, les fotoresistències són una opció correcta. Tenint present que es connectarà a una tensió d'alimentació de 3,3V es selecciona el sensor fotoresistor PDV-P8001 del fabricant Adafruit. És una fotocèl·lula circular de 5 mm de diàmetre que presenta les següents característiques:

- Rang de resistència: 600 k Ω (foscor) fins 10 k Ω (10 lux d'il·luminació)
- Rang de sensibilitat de llum: entre 400 nm (violeta) fins 600 nm (taronja)
- Font d'alimentació: 3,3V de tensió i utilitza menys d'1mA de mitjana que pel nostre estudi serà significativament un corrent més petit com es veurà més endavant.



Figura 6.10 Sensor fotoresistor PDV-P8001 [15]

Un aspecte molt important per implementar els sensors és la connexió amb el mòdul de transmissió de dades TD1208. Les fotoresistències són generalment força resistents. Així doncs, el model seleccionat es pot soldar fàcilment i acoblar-se per mitjà de cables com es mostra en la següent figura 6.11. D'aquesta manera, es podran situar els sensors necessaris en el lloc apropiat i connectar-los en un mateix dispositiu.



Figura 6.11 Imatge d'acoblament del cablejat del sensor [15]

La manera més senzilla de mesurar un sensor resistiu es basa en connectar un extrem a la font d'alimentació de 3,3V i l'altre extrem al terra amb una resistència *pull-down*. Finalment, entre aquesta resistència *pull-down* i la resistència variable de la fotoresistència es connecta a la sortida analògica del nostre mòdul. La resistència de *pull-down* com s'ha especificat en les característiques principals anteriorment, és de 10

kΩ. La decisió d'escollir aquest model en comptes del d'1 kΩ s'ha decidit perquè el dispositiu no es satura ja que el seu funcionament serà nocturn i interessa que pugui diferenciar nivells de foscor diferents.

En la següent taula es representa la resistència de la fotocèl·lula i el corrent que hi circula pel circuit en funció de la il·luminació rebuda:

Tipus de llum	Il·luminació	LDR (R _{LDR})	LDR + pull-down (R _{pd} + R _{LDR})	Intensitat LDR + pull-down (I _{pd+LDR})	Tensió en pull-down (V ₀)
Nit de lluna	0,1 lux	600 kΩ	610 kΩ	5 μA	0,05 V
Crepuscle o ocàs ennuvolat	1 lux	70 kΩ	80 kΩ	41 μA	0,41 V
Crepuscle o ocàs	10 lux	10 kΩ	20 kΩ	165 μA	1,65 V
Dia fosc	100 lux	1,5 kΩ	11,5 kΩ	287 μA	2,87 V
Dia ennuvolat	1.000 lux	0,3 kΩ	10,3 kΩ	320 μA	3,3 V

Taula 6.5 Tensió analògica aproximada en base al sensor fotoresistor PDV-P8001

$$I_{pd+LDR} = \frac{V_{cc}}{R_{pd} + R_{LDR}} ; V_0 = V_{cc} \times \frac{R_{pd}}{R_{pd} + R_{LDR}}$$

6.3.3. Implementació de la solució

6.3.3.1. Ubicació i instal·lació

D'acord amb el plànol facilitat pel ParcMotor i representat en la figura 6.12, s'observa com els 14 boxes disponibles del circuit estan separats per parets en quatre recintes contigus.

Per tant, si es vol evitar que els llums quedin encesos en horari fora de servei, es necessari la instal·lació de 4 sensors de llum, un per cada espai delimitat. Per conseqüent, com en aquest cas l'aplicació no requereix d'una transmissió de dades elevada (entre 1 i 4 missatges diaris) és suficient amb la instal·lació d'un dispositiu que

permeti connectar els 4 sensors. Aquests van ubicats al costat de les lluminàries centrals dels recintes.

No es col·loquen sensors de moviment però no es descarta la seva incorporació en un futur on la seguretat del recinte tingui un impacte major. No obstant, gràcies als sensors fotoelèctrics es podrà identificar també si els boxes s'han quedat oberts en nits clares.

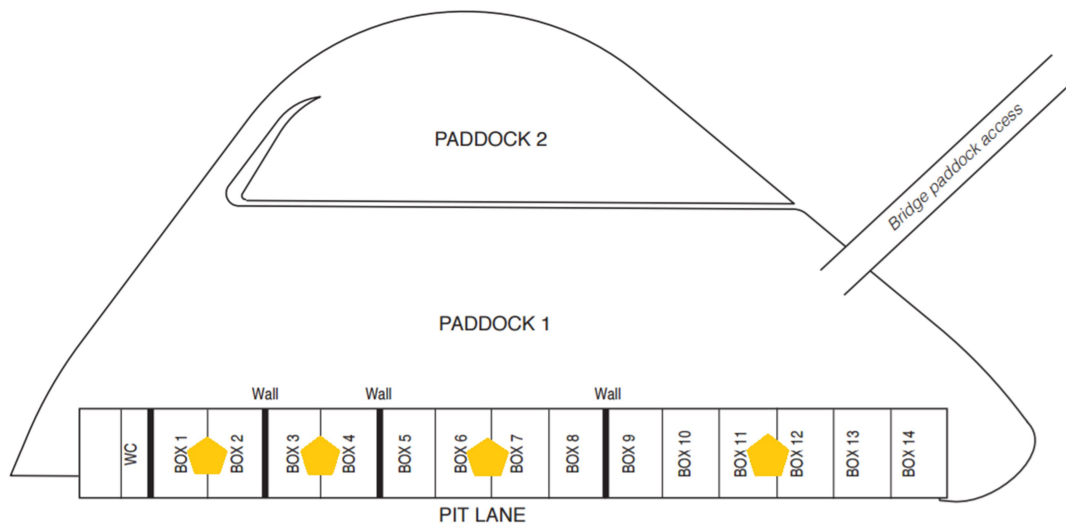


Figura 6.12 Ubicació dels sensors fotoelèctrics en base al plànol del paddock del circuit de velocitat [10]

6.3.3.2. Funcionament de l'aplicació

A diferència dels casos anteriors, el dispositiu roman operatiu a la inversa. És a dir, quan les instal·lacions es tanquen entra en funcionament, mentre que durant la realització d'activitats al circuit està en repòs. Per tant, el mòdul s'activa tant sols quan es requereix enviar senyals, mentre que els sensors actuen per mitjà de l'interruptor digital durant la totalitat del temps amb les instal·lacions tancades.

L'aplicació funciona de la següent manera. A partir de les 19:15h de la tarda, moment en el qual les instal·lacions han d'estar tancades, els sensors comencen a actuar i a rebre senyals d'intensitat. Durant la següent hora, el mòdul es programa per enviar només un avís en el cas de que els sensors detectin els llums encesos. Es poden produir tres situacions:

- Situació A: detecció de llums encesos a partir de 2,87 V. Envia alerta a la xarxa “pàdoc ocupat, recinte 1, 2, 3 o 4”.
- Situació B: detecció de box obert. Entre 0,05 V i 2,87 V. Envia alerta a la xarxa “box obert, recinte 1, 2, 3 o 4”.
- Situació C: llums apagats. No envia cap alerta.

És probable que els horaris no es respectin i encara hi hagi algun participant utilitzant les instal·lacions. Per això, passada la hora programada, es reinicia el mòdul amb les condicions anteriors i es torna a plantejar les tres situacions anteriors:

- Situació A: mateixes condicions. Alerta “llums encesos, recinte A, B, C o D”
- Situació B: mateixes condicions. Alerta “box obert, recinte 1, 2, 3 o 4”
- Situació C: llums apagats. Alerta “llums apagats i boxes tancats”

En aquest segon cas, avisa tant si la primera o segona incidència preval com si els llums ja estan apagats. El motiu pel qual s’informa que els llums i boxes no tenen incidències és degut a que si se’n fa un bon ús de les instal·lacions no hi hauria d’haver cap alerta diària. Per assegurar el correcte funcionament del dispositiu, amb aquest sistema s’obliga a emetre diàriament una alerta informativa a la xarxa.

A partir d’aquest últim estat, si es detecta lluminositat en algun dels boxes (Situació A o B) el mòdul torna a reiniciar-se cada hora amb les condicions de la primera iteració fins a les 8h del matí amb l’apertura de les instal·lacions de nou. En aquest punt, el dispositiu entra en repòs i l’interruptor digital desactiva els sensors.

Les alarmes transmeses s’envien a la xarxa i es fan arribar als vigilants del complex perquè estiguin informats de l’estat dels boxes al finalitzar la jornada i es puguin adoptar les mesures oportunes en cas necessari.

6.3.3.3. Consum energètic

A continuació es comenten els esdeveniments que es duren a terme en la mesura de la lluminositat als boxes en horari de tancament:

- Repòs: ocupa casi la totalitat del temps emprat amb un consum mitjà de 1.8 μ A.

- Transmissió de dades: es consideren els esdeveniments de transmissió d'alarmes de tipus A, B i C. Es calcula una mitjana de 2 alertes/dia. El consum del mòdul TD1208 total és de 35 mA per esdeveniment amb una durada de 10 segons.
- Sensor fotoelèctric: varia en funció de la il·luminació dels boxes. Consum mitjà diari de 5µA.

Amb aquests valor s'obté la següent taula:

Esdeveniment	Consum esdeveniment (µA)	Duració esdeveniment (s)	Número d'esdeveniments	Duració total diària (s)
Dormint (en repòs)	1,8	-	-	86.190
Transmissió dades	35.000	10	21	210
Activació mòdul	5	-	-	54.000

Taula 6.6 Mesures del TD1208 amb sensor fotoelèctric

Aplicant les fórmules vistes en l'apartat 6.1.3.3, es pot trobar la relació amb els següents consums i duracions:

Consum mitjà al dia (µA)	37,93
Duració bateria (h)	63.277
Duració bateria (anys)	7,22
Número transmissions	55.368

Taula 6.7 Valors de consum del TD1208 amb sensor fotoelèctric

6.4. Control de la velocitat al pit lane i del tràfic en pista

6.4.1. Plantejament del problema

El pàdoc del circuit de velocitat és una zona força transitada, especialment quan es celebren tandes organitzades. Per aquest motiu, és primordial extremar la precaució a l'hora de circular pel recinte del pàdoc.

La normativa vigent de les instal·lacions del circuit delimita la velocitat màxima pel pit lane en 20 km/h. No obstant, el compliment i execució d'aquesta norma no s'està

portant a terme adequadament i cal actualitzar-la i instaurar-la al circuit per tal de donar consciència als participants involucrats. Per exemple, els organitzadors de tandes delimiten aquesta velocitat de circulació en els 60 km/h.

Una solució per a respectar els límits de velocitat establerts al pàdoc, és la col·locació de dispositius a l'entrada i sortida del pit lane que detectin la velocitat dels vehicles en els extrems del pit lane. La intenció és que enviï missatges a la xarxa cada cop que es superi el llindar de velocitat programat i que alhora una lluminària emeti una llum per advertir als pilots que han comès una infracció.

Per aprofitar la instal·lació del dispositiu i donar més informació d'utilitat al complex, l'aplicació avisa que els pilots que entren a pista circulen en el sentit horari d'acord amb la normativa del circuit. També, avisa quan la pista està lliure i quan la pista està sent ocupada.

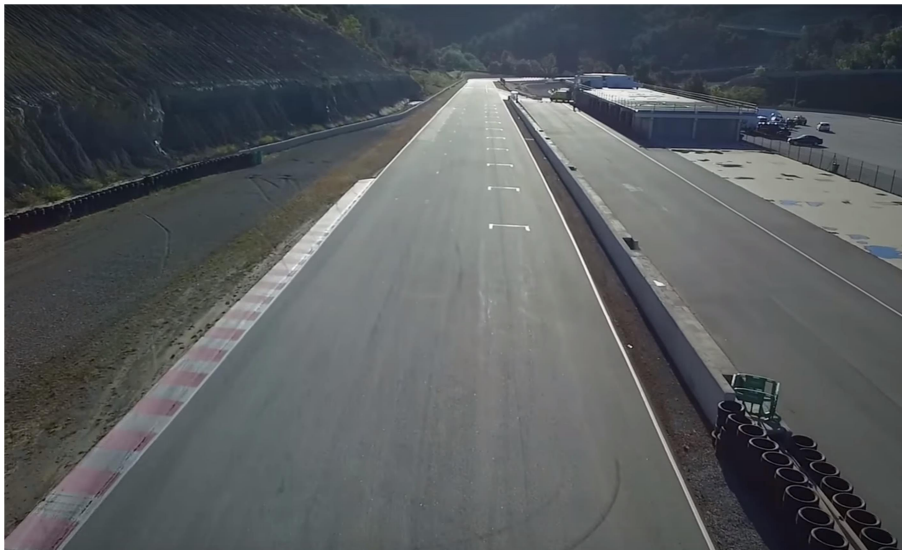


Figura 6.13 Imatge de la recta principal i del pit lane del circuit de velocitat

6.4.2. Dispositiu fix amb sensor radar Doppler

El dispositiu estarà fix novament com en les anteriors propostes. Per tant, es partirà del prototip genèric fix TD1208 per implementar la resta de components necessaris per aquesta aplicació.

6.4.2.1. Sensor radar Doppler

L'efecte doppler és el canvi de la freqüència percebuda per qualsevol moviment ondulatori quan l'emissor o el receptor es desplacen un respecte l'altre amb un moviment relatiu. Per entendre el concepte, s'explica un exemple del funcionament d'aquest fenomen fent menció a la proposta estudiada. Un vehicle entra al pit lane i s'apropa al sensor. El sensor emet ones en la direcció de l'antena que es reflexen de nou cap al sensor i compara les freqüències. Quan el vehicle s'aproxima, la longitud d'ona es redueix i la freqüència augmenta.

Un model de sensor que satisfà les necessitats i característiques del dispositiu és el HB100. Consta d'un oscil·lador ressonant dielèctric (DRO), un mesclador de microones i una antena. La connexió amb el mòdul TD1208 és relativament senzilla a través de les terminals +5V, el terra o GND, i el IF per connectar el sensor amb un circuit d'amplificació.



Figura 6.14 Sensor radar Doppler HB100 [16]

Destacar com a característiques principals que opera a 5V amb cicles de polsos baixos per reduir el consum, una freqüència de transmissió de 10,525 GHz.

Partint d'aquestes propietats conegudes del sensor es pot determinar la freqüència Doppler amb la que s'haurà d'amplificar el nostre dispositiu pel rang de velocitats d'estudi. A partir de l'equació genèrica de Doppler podem simplificar-la de la següent manera:

$$f_d = 2 \cdot v \frac{f_t}{c} \cdot \cos \theta$$

On:

- f_d = Freqüència Doppler
- v = Velocitat del vehicle
- f_t = Freqüència de transmissió (10,525 GHz)
- c = Velocitat de la llum ($3 \cdot 10^8$ m/s)
- θ = angle entre la direcció del vehicle i l'eix del sensor

Simplificant la fórmula amb les característiques tècniques del sensor i un angle de 0° , s'obté la relació de la freqüència Doppler en funció de la velocitat del vehicle:

$$f_s = 19,49 \cdot v$$

6.4.2.2 Alarma de llum vermella LED estroboscòpica

Per advertir instantàniament als pilots que han superat el límit de velocitat al pàdoc es col·loca una sirena de llum LED a continuació del dispositiu radar. Quan el sensor detecta que s'ha superat el llindar establert per l'usuari, el mòdul activa l'interruptor digital de mosfets a través d'un pin USR que deixa passar el corrent cap a la sirena de llum.

Per satisfer les necessitats de l'aplicació, cal una alarma amb un indicador lumínic intermitent de baix consum i alta lluminositat per tindre visibilitat sota condicions meteorològiques adverses. La alarma estroboscòpica seleccionada disposa de 13 LEDs. També és resistent i ofereix un gran rendiment en la intempèrie. El voltatge de funcionament és de 12V i consumeix 120 mA mentre treballa. Té una freqüència estroboscòpica de 65 vegades/minut.



Figura 6.15 Sirena de llum vermella LED estroboscòpica [17]

6.4.2.3. Convertidor DC/DC

A diferència del convertidor vist en capítols anteriors, es selecciona el model Recom R-78E5.0-0.5. Proporciona una tensió de sortida de 5 V amb una corrent límit de 500 mA per poder alimentar el sensor Doppler.

6.4.2.4 Divisor de tensió resistiu

Un divisor de tensió resistiu és un circuit elèctric que reparteix la tensió d'una font entre dues impedàncies connectades en sèrie. En l'estudi que comporta aquesta proposta caldrà disminuir la tensió de sortida del sensor de 5V a 3,3V del mòdul. La relació d'aquestes tensions s'aconsegueix per mitjà d'impedàncies a partir de la següent fórmula:

$$V_{mòdul} = \frac{R2}{R1 + R2} \cdot V_{sensor}$$

R1 i R2 pot ser qualsevol combinació de resistències en sèrie que aconseguixi l'objectiu de reduir la tensió fins a 3,3V.

6.4.3. Implementació de la solució

6.4.3.1. Ubicació i instal·lació

L'objectiu d'aquesta proposta és conscienciar als participants de la importància que té respectar les normes i indicacions establertes en quant a velocitat dins de les instal·lacions del pàdoc. Per aconseguir el major impacte possible de la mesura adoptada, es precisa d'instal·lar dos sensors de velocitat a l'entrada i a la sortida del pit lane. Per tant, els llocs escollits per la col·locació dels sensors són els dos extrems del mur de la recta principal i que separa el pit lane amb la recta. Aquests dispositius, anirien connectats per cable per poder comptabilitzar les entrades i sortides a pista.

6.4.3.2. Funcionament de l'aplicació

Seguint amb les mateixes premisses vistes anteriorment, el mòdul estarà dormint amb les instal·lacions tancades i el sensor de velocitat apagat per l'interruptor digital. Durant la resta del temps operatiu, el sistema configurat de tractament de dades serà més elaborat i complet que la resta de casos ja analitzats.

En primer lloc, s'exposa quin procediment tindrà la recollida de dades de velocitat. La normativa vigent del circuit indica que no es pot superar els 20km/h, tot i que en certes proves aquesta velocitat no es correspon amb la norma. Per a la programació i posterior execució del dispositiu cal normalitzar aquesta informació. Per tant, es deixarà el valor lllindar màxim permès a expenses de que es prengui una decisió al respecte. Partint d'aquesta premissa, el mòdul s'activa quan es supera aquest màxim programat i envia un avís a la xarxa indicant la velocitat corresponent.

Amb aquesta mesura adoptada, es poden registrar i reportar totes les incidències ocorregudes. Tanmateix, el pilot que comet la infracció no és conscient de l'error comès tot i que es presentin les infraccions al pàdoc. Per solucionar aquesta circumstància i assegurar el coneixement dels pilots infractors, es decideix instal·lar una sirena de llum vermella amb 13 LEDs a continuació del sensor que s'activi cada cop que es supera el límit de velocitat. D'aquesta manera, s'avis visualment al pilot que ha de reduir la velocitat de marxa.

Gràcies a la implementació d'aquest dispositiu podem aprofitar les possibilitats que ofereix per reportar més informació d'utilitat al circuit. Un dels casos aplicables és l'avís de que un vehicle entra o surt del pàdoc pels accessos incorrectes, de tal manera que s'estigui produint en el sentit contrari a la circulació. El funcionament és simple. El sensor es configura de tal manera que detecti canvis de longitud d'ona quan s'apropi un vehicle i els tradueixi en velocitats. Si detecta l'efecte contrari, és a dir, una disminució en la freqüència de propagació de les ones, considera que el vehicle està circulant en sentit contrari.

Per últim, es programa un comptador que calcula els vehicles que hi ha actualment en pista. Cada cop que el sensor de velocitat de la sortida del pit lane detecta un vehicle el suma, i quan el detecta a la entrada del pit lane, el resta. Per aconseguir aquest efecte és necessari connectar els dos mòduls entre ells. Aprofitant el mur de contenció que separa la pista amb el pit lane, es pot fer aquesta connexió fàcilment. Amb aquest sistema, el mòdul entra en funcionament només quan el comptador passa de 0 a 1 i a l'inrevés:

- Canvi de 0 a 1 vehicles: envia senyal d'alerta de "pista ocupada"
- Canvi de 1 a 0 vehicles: envia senyal d'alerta de "pista lliure"

En resum, la proposta implementada pretén alertar un total de tres situacions diferents. Per una banda, avisa als responsables del circuit i al pàdoc quan un pilot ha superat el llindar establert. Per mitjà del llum de LEDs també avisa directament al pilot de la infracció. Per últim, alerta al pàdoc si la pista està lliure o ocupada en temps real.

6.4.3.3. Consum energètic

A continuació es comenten els esdeveniments que es duren a terme:

- Repòs: ocupa casi la totalitat del temps emprat amb un consum mitjà de $1.8 \mu A$.
- Transmissió de dades: es consideren els esdeveniments de transmissió d'alarmes al superar els límits de velocitat del pàdoc. Es calcula una mitjana de 3 alertes/hora i un total de 30 alertes/dia. El consum del mòdul TD1208 total és de 35 mA per esdeveniment amb una durada de 10 segons.
- Sensor radar Doppler: es considera una mitja de 10 deteccions cada hora per dispositiu que suposa un total de 110 deteccions al dia. El consum del sensor operatiu és de 60 mA amb una durada d'1 segon.

- Llum: s'encén cada cop que es transmeten dades amb una durada de 5 segons.
Per tant, s'activa 30 vegades al dia de mitjana.

Amb aquests valor s'obté la següent taula:

Esdeveniment	Consum esdeveniment (μA)	Duració esdeveniment (s)	Número d'esdeveniments	Duració total diària (s)
Dormint (en repòs)	1,8	-	-	86.100
Transmissió dades	35.000	10	30	300
Activació mòdul	60.000	1	110	110
Recerca de posició	120.000	5	30	150

Taula 6.8 Mesures del TD1208 amb sensor radar Doppler i llum vermella de LEDs

Aplicant les fórmules vistes en l'apartat 6.1.3.3, es pot trobar la relació amb els següents consums i duracions:

Consum mitjà al dia (μA)	310,16
Duració bateria (h)	7.737
Duració bateria (anys)	0,88
Número transmissions	9.672

Taula 6.9 Valors de consum del TD1208 amb sensor radar Doppler i llum vermella de LEDs

6.5. Control del nivell de brossa del circuit

6.5.1. Plantejament del problema

Una situació complicada de gestionar és la logística de les escombraries del circuit. L'accés a les instal·lacions complica el servei de neteja de brossa. Per tal d'estalviar costos innecessaris, es vol instaurar un dispositiu que avisi quan la paperera superi la capacitat indicada per l'usuari i necessiti buidar-se.

En grans ciutats com Barcelona amb el projecte BCN Smart Citiy o Sevilla amb el projecte eGarbage, s'està començant a implantar aquest sistema de recollida. S'estima

que les rutes programades es redueixin fins a un 30% i hi hagi un estalvi del 40% en els costos.

En el primer dels casos, s'utilitza un software desenvolupat per MOBA que a través de la xarxa de comunicacions mòbils GSM transmet les senyals corresponents. En el cas de Sevilla, hi ha un total de 275 contenidors operatius i desenvolupats per Wellness Telecom, empresa enfocada en l'IoT, que utilitza la xarxa SigFox per comunicar dispositius amb molt poca quantitat d'informació i un molt baix cost i consum.

Aquesta segona aposta per implementar diversos dispositius de manera eficient és l'objectiu que es busca en aquest projecte. Amb la tecnologia SigFox es poden arribar a dissenyar objectes que millorin notablement totes les instal·lacions.

6.5.2. Dispositiu fix amb detector de residus emmagatzemats

A partir del prototip fix amb mòdul TD1208, cal connectar un sensor ultrasònic extern per mesurar els nivells d'escombraries emmagatzemades en les instal·lacions.

6.5.2.1. Sensor ultrasònic

En el tractament de residus abocats amb l'IoT és de molta utilitat la mesura del nivell de deixalles a través de sensors ultrasònics, especialment quan aquests residus estan repartits uniformement en un contenidor. D'aquesta manera la lectura del sensor presenta una gran fiabilitat i el converteix en una de les millors opcions per monitoritzar la recollida d'escombraries.

Els sensors ultrasònics són detectors de proximitat que detecten objectes a distància des de pocs centímetres fins a diversos metres per mitjà d'ones ultrasòniques. El capçal del sensor emet un pols d'alta freqüència i rep el senyal reflectit per l'objecte incident. En funció del temps que triga l'ona en retornar al sensor es calcula la distància que els separa.

En la recerca d'aquest tipus de sensors, s'arriba a la conclusió que la millor opció és el model HC-SR04 degut a que compleix els requisits de la implementació de la millora. Tot i això, la decisió final s'ha dut a terme per la competitivitat en preu que ofereix respecte d'altres models amb característiques similars.

El sensor HC-SR04 té un rang de mesura que oscil·la dels 2 als 400 cm amb una resolució de 0,3 cm. No obstant, per assegurar el correcte funcionament del sensor es realitzaran mesures que no superin els 2 m de distància amb l'objecte implicat. S'haurà de valorar la precisió del sensor ja que una mala orientació d'aquest pot falsejar les mesures per reflexions inesperades. Per tant, s'haurà de fixar el dispositiu de manera que apunti sempre perpendicularment als objectes a mesurar-ne la distància per evitar l'aparició d'ecos. En aquest sentit, també serà important que funcioni en recintes tancats de més de 0,5 m² de superfície.

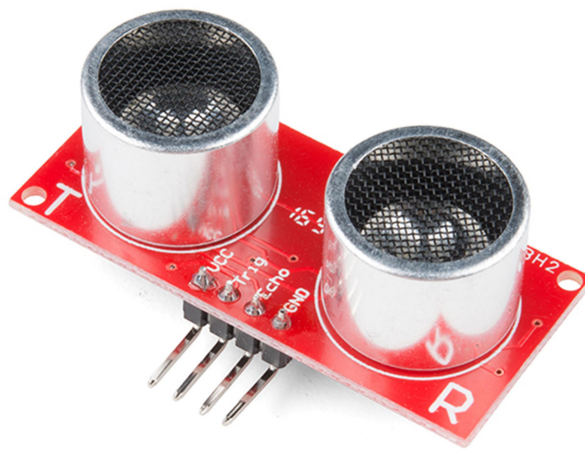


Figura 6.16 Sensor ultrasònic HC-SR04 [18]

Com a característiques principals cal destacar-ne les següents:

- Alimentació: 5 V o 3,3 V
- Interfície de quatre fils: Vcc, trigger, echo i GND.
- Corrent d'alimentació: 15 mA
- Apertura de pols ultrasònic: 15°
- Dimensions: 45x20x15 mm

La mesura de la distància d'aquests sensors s'efectua a partir del temps entre l'enviament i la recepció del pols sonor, coneguda la velocitat de l'aire que a temperatura ambient és de 343 m/s.

Transformant les unitats s'obté: $343 \frac{m}{s} = \frac{1}{29,2} \frac{cm}{\mu s}$. És a dir, el so triga 29,2 μs en recórrer 1 cm. Si sabem que la distància que separa el sensor amb l'objecte és realitza en la meitat del temps total registrat es defineix la distància com:

$$Distància (cm) = \frac{Temps (\mu s)}{29,2 \times 2}$$

Per últim, la connexió amb el mòdul TD1208 es fa per mitjà de quatre fils. La tensió Vcc es connectarà en aquest cas a 3,3 V i el GND a terra. En quant al pin *Trigger*, es connecta al USR del mòdul i és per on s'introdueix el pols per activar el sensor i que envii ultrasons, mentre que el pin *Echo*, es connecta al TIM2 del mòdul i retorna un pols de duració del temps que ha trigat en anar i tornar la senyal.

6.5.3. Implementació de la solució

6.5.3.1. Ubicació i instal·lació

El dispositiu va col·locat en la tapa superior del contenidor, de manera que emeti polsos ultrasònics a l'interior del compartiment gràcies a la ubicació del sensor dirigint-los perpendicularment cap a la base del contenidor. Per l'altre costat del dispositiu, va instal·lat el mòdul TD1208 en contacte amb l'exterior per transmetre les dades a la xarxa SigFox.

Al ser un mòdul i un sensor relativament petits, no és un impediment la maniobrabilitat de la tapa superior. No ocupa espai i el pes total és de pocs grams. Sí cal que es fixi degudament perquè el sensor no pateixi grans vibracions que modifiquin la posició del dispositiu i distorsionin les mesures efectuades. El baix consum diari del dispositiu ve associat amb una autonomia de 17 anys, per tant, és important una correcta instal·lació perquè la vida útil del dispositiu tingui una durada considerable. Es descarta fixar la tapa superior i habilitar un espai per introduir les deixalles ja que ha d'emmagatzemar tot tipus de residus i ha d'estar hermèticament tancat. A més, el servei de recollida no caldria que estigués preparat per una buidada específica.

6.5.3.2. Funcionament de l'aplicació

L'aplicació opera de manera similar que en el cas de la recollida de pneumàtics usats. Tot i utilitzar components i mètodes diferents en l'obtenció de dades per calcular el nivell de residus, la transmissió d'aquestes dades es pot extrapolar de l'altra proposta.

Seguint els mateixos criteris, el dispositiu es programa en certes hores del dia per activar el mòdul i conseqüentment, el sensor a partir de l'interruptor digital implementat. En aquest cas, per evitar errors de mesura en la distància que recorren les ones, el procediment d'adquisició de dades es calcula fent la mitjana entre diverses senyals.

Un cop recollides les dades, les alertes s'envien en funció del volum ocupat del compartiment. Una proposta d'alertes tornaria a ser la vista anteriorment:

- Volum compartiment $< 60\%$: funcionament correcte.
- Volum compartiment 60% a 80% : alerta de necessitat de buidatge.
- Volum compartiment $> 80\%$: alerta de recollida imminent.

Aquesta informació es transmesa als serveis de neteja i responsables de les instal·lacions perquè es realitzin les activitats pertinents.

6.5.3.4. Consum energètic

A continuació es comenten els esdeveniments que es duran a terme en la mesura del nivell de brossa del circuit:

- Repòs: ocupa casi la totalitat del temps emprat amb un consum mitjà de $1.8 \mu A$.
- Transmissió de dades: es consideren 3 esdeveniments de transmissió d'alerta diària. El consum del mòdul TD1208 total és de 35 mA per esdeveniment amb una durada de 10 segons.
- Sensor ultrasònic: s'activa per mesurar el nivell de residus, els mateixos cops que alertes es transmetin durant 10 segons i se'n fa la mitjana.

Esdeveniment	Consum esdeveniment (μA)	Duració esdeveniment (s)	Número d'esdeveniments	Duració total diària (s)
Dormint (en repòs)	1,8	-	-	86.340
Transmissió dades	35.000	10	3	30
Activació sensor	15.000	10	3	30

Taula 6.10 Mesures del TD1208 amb sensor ultrasònic

Aplicant les fórmules vistes en l'apartat 6.1.3.3, es pot trobar la relació amb els següents consums i duracions. En aquesta aplicació, només es farà servir una bateria de 1,2 Ah de capacitat.

Consum mitjà al dia (μA)	8,08
Duració bateria (h)	148.579
Duració bateria (anys)	16,96
Número transmissions	18.572

Taula 6.11 Valors de consum del TD1208 amb sensor ultrasònic

6.6. Recollida de pneumàtics usats

6.6.1. Plantejament del problema

En un circuit de velocitat és primordial el bon estat dels pneumàtics. No només condiciona els temps dels pilots sinó que és un component molt important per a la seguretat. Una conducció agressiva amb frenades brusques deteriora ràpidament la goma d'aquests.

En una sessió de tests, un cotxe o una moto professionals acostumen a fer unes 30 voltes amb els mateixos pneumàtics. A partir d'aquesta xifra, el pneumàtic baixa notablement les seves prestacions i els temps per volta disminueixen dràsticament. Fins i tot, els organitzadors de tandes del circuit de Castellolí ofereixen als participants un servei de canvi de rodes en les mateixes instal·lacions.

El *Real Decreto 1619/2005* [19] publicat el 3 de gener de 2006 sobre la gestió de pneumàtics fora d'ús regula en l'article 5.3.d l'eliminació de residus mitjançant abocadors de manera que prohibeix el dipòsit de pneumàtics usats a partir del 16 de juliol del 2006. La solució establerta per diferents fabricants va ser crear empreses de recollida i reciclatge d'aquests pneumàtics usats entre la que destaca la companyia Signus.

Actualment, la normativa del circuit fa responsable a l'usuari o equip retirar degudament de les instal·lacions els pneumàtics usats. La proposta que es planteja pretén habilitar un servei de recollida d'aquestes rodes no aprofitables. El propòsit és col·locar un dispositiu que detecti la quantitat de pneumàtics llençats en una zona delimitada i transmeti missatges a la xarxa SigFox per informar del volum disponible i poder organitzar així la seva recollida.

6.6.2. Dispositiu fix amb detecció de càrrega

A partir del prototip fix amb mòdul TD1208 es fa una recerca dels sensors més apropiats. En aquesta particular millora es plantegen dues maneres de calcular la quantitat de residus de pneumàtics usats. Per una banda, torna a ser possible la utilització de sensors ultrasònics. Com s'ha vist en el capítol anterior, aquests sensors són de gran acceptació quan es requereix calcular la distància amb un objecte. Una solució perfecta per calcular nivells de volum d'un compartiment. Tanmateix, si la col·locació d'aquests pneumàtics no es realitza de manera ordenada la precisió del sensor es veu afectada podent donar valors incorrectes.

Per evitar lectures de dades inadequades, una alternativa és la utilització de cel·les de càrrega. L'espai habilitat estarà destinat per la ubicació únicament de pneumàtics, els quals ocuparan i pesaran quantitats similars cadascun. A partir del pes total registrat pel sensor es pot calcular quin volum i quantitat d'unitats s'estan emmagatzemant al circuit.

Aquestes cel·les s'alimenten de tensions superiors als 3,3 V que pot suportar el mòdul, per tant, caldrà incloure un altre convertidor DC/DC que redueixi els 9 V de la bateria i un divisor resistiu per poder connectar el sensor a la placa.

6.6.2.1. Cel·la de càrrega a compressió

Una cel·la de càrrega a compressió és un transductor utilitzat per convertir una força en la direcció de compressió en una senyal elèctrica. Aquesta conversió comença a partir d'un dispositiu mecànic basat en una galga extensiomètrica que pateix deformacions obtenint una senyal elèctrica en conseqüència amb la que podem mesurar el valor de la força aplicada.

Existeixen diferents tipus de sensors en funció de l'aplicació i funció que es busqui. Per a sistemes de mesura a compressió es destaquen els següents:

- Cel·la de càrrega a compressió: ideals per muntatges amb espai reduït. Incorporen un botó que s'ha de pressionar amb una força perpendicular a la superfície muntada.
- Cel·la de càrrega tipus S: pot treballar a compressió o tracció. Pensada per aplicacions de nivell de tancs, tremuges i bàscules.
- Cel·la de càrrega de plataforma: dissenyades per sistemes de mesura de pes comercial o industrial. Les lectures són precises independentment de la posició de la plataforma.

Entre els models disponibles al mercat, una opció que s'ajusta a les condicions requerides per la proposta és el dispositiu FC23. És un sensor de força d'alta compressió amb mesuradors de silici i tecnologia d'alt rendiment que proporciona una excel·lent duració a llarg termini i una vida útil pràcticament il·limitada al operar amb tensions molt baixes. La cel·la de càrrega mesura la força directament i per tant, no està subjecte a fallides de fatiga, així com té una resolució superior a altres models i un rang de capacitat molt ampli.

Els paràmetres més significatius del dispositiu són els següents:

- Rang operatiu: 250 a 2000 N de càrrega detectable.
- Voltatge de subministrament: 5 V
- Temperatura operativa: -40°C a 80°C
- Muntatge per cable
- Precisió: $\pm 1\%$
- Pes: 47 g



Figura 6.17 Cel·la de càrrega FC23 [22]

6.6.2.2. Convertidor DC/DC i divisor de tensió resistiu

D'igual manera que en la millora per controlar la velocitat al pàdoc, es requereix d'un convertidor DC/DC Recom R-78E5.0-0.5. amb una tensió de sortida de 5 V i del mateix divisor resistiu vist en el capítol 6.4.

6.6.3. Implementació de la solució

6.6.3.1. Ubicació i instal·lació

La localització seleccionada per ubicar els pneumàtics usats ha de ser accessible pels implicats, des de les empreses participants, passant pels pilots i fins al servei de recollida. Per aquests motius, es situa en el segon pàdoc. Un espai que no obstaculitza el bon funcionament de les activitats al trobar-se fora de la zona de pas dels participants i alhora està situat al costat dels boxes i de la porta principal d'entrada.

Per assegurar el correcte funcionament de l'aplicació i cuidar la imatge i neteja del pàdoc és un requeriment emmagatzemar els pneumàtics en un compartiment tancat i de capacitat delimitada. Així doncs, el dispositiu a implementar s'ha d'adaptar a la situació del circuit i es dissenyarà tenint presents aquests aspectes.

6.6.3.2. Funcionament de l'aplicació

En aquest cas, el dispositiu porta instal·lat un sensor de pes, més concretament una cel·la de càrrega a compressió amb capacitat de 10.000 N. Si partim de la base de que el pes mitjà d'un pneumàtic oscil·la entre els 8 i 10 kg, amb aquest dispositiu es podran apilar fins a un total de 100 unitats.

El funcionament del dispositiu és simple i amb molt pocs missatges s'aconsegueix l'objectiu establert. Tant sols transmetent una alerta diària es pot fer el seguiment de l'estatus del volum actual del nostre compartiment. Cada dia en una hora programada que podria ser la primera o l'última de l'horari del circuit, el mòdul s'activa i d'igual forma ho fa el sensor a través de l'interruptor digital. Aquest calcula el pes del compartiment i envia una alerta indicant el percentatge ocupat a l'empresa encarregada de la recollida.

Amb un o dos missatges diaris es considera suficient per a que l'empresa de recollida pugui organitzar-se degudament i evitar superar la capacitat d'emmagatzematge del compartiment. S'estima que en els pitjors dels casos, en un dia d'activitat es puguin abocar fins a 20 pneumàtics. Un exemple de com funcionaria l'aplicació seria el següent:

- Volum compartiment < 60%: funcionament correcte.
- Volum compartiment 60% a 80%: alerta de necessitat de buidatge.
- Volum compartiment >80%: alerta de recollida imminent.

Aquesta informació obtinguda, s'informa directament al servei de recollida contractat per agilitzar la transmissió d'alarmes i paral·lelament s'avisava als responsables del circuit perquè puguin controlar el seguiment i bon funcionament del servei.

6.6.3.4. Consum energètic

A continuació es comenten els esdeveniments que es duren a terme en la mesura del nivell acústic del circuit:

- Repòs: ocupa casi la totalitat del temps emprat amb un consum mitjà de 1.8 μ A.
- Transmissió de dades: màxim de 3 alertes/dia. El consum total del mòdul TD1208 és de 35 mA per esdeveniment, amb una durada de 10 segons.
- Cel·la de càrrega: s'activa amb l'interruptor digital quan s'activa el mòdul. Per tant, funciona un màxim de 3 vegades/dia amb un consum operatiu de 90 mA. Agafa mesures durant 1 segon.

Esdeveniment	Consum esdeveniment (μ A)	Duració esdeveniment (s)	Número d'esdeveniments	Duració total diària (s)
Dormint (en repòs)	1,8	-	-	86.370
Transmissió dades	35.000	10	3	30
Activació mòdul	90.000	1	3	3

Taula 6.12 Mesures del TD1208 amb cel·la de càrrega

Aplicant les fórmules vistes en l'apartat 6.1.3.3, es pot trobar la relació amb els següents consums i duracions. En aquesta aplicació, només es farà servir una bateria de 1,2 Ah de capacitat.

Consum mitjà al dia (μA)	7,88
Duració bateria (h)	152.340
Duració bateria (anys)	17,39
Número transmissions	19.042

Taula 6.13 Valors de consum del TD1208 amb cel·la de càrrega

6.7. Control d'accés al circuit de velocitat

6.7.1. Plantejament del problema

El circuit de velocitat de Castellolí té una única porta d'accés principal a les instal·lacions que comunica directament amb el pàdoc per mitjà d'un pont. Aquest accés és comú tant per vehicles com per vianants.

Com s'observa en la figura 6.18, el pont està protegit en tot el trajecte per unes tanques de 2 metres d'altura per impedir que es pugui saltar a la pista directament. L'any 2010, es va produir un accident mortal al saltar del pont a la pista un nen que observava als pilots circular. El pont d'accés era un punt utilitzat per visualitzar el pas d'aquests pilots. Actualment, l'única funcionalitat del pont és la de comunicar la porta d'entrada amb les instal·lacions del circuit.



Figura 6.18 Imatge del pont d'accés al pàdoc del circuit de velocitat

Tenint en compte aquestes consideracions, l'accés al pàdoc queda restringit pel pont de pas. Per tant, l'única possibilitat d'accedir a les instal·lacions és per l'entrada principal. Aquesta entrada està composta per una porta corredissa metàl·lica de barres que es desplaça longitudinalment i de manera automàtica. Per tal de que s'obri, al costat hi ha una caseta de vigilància, en la qual l'encarregat responsable dóna permís als vehicles i personal autoritzats per accedir al circuit, tal i com es mostra en la figura 6.19.

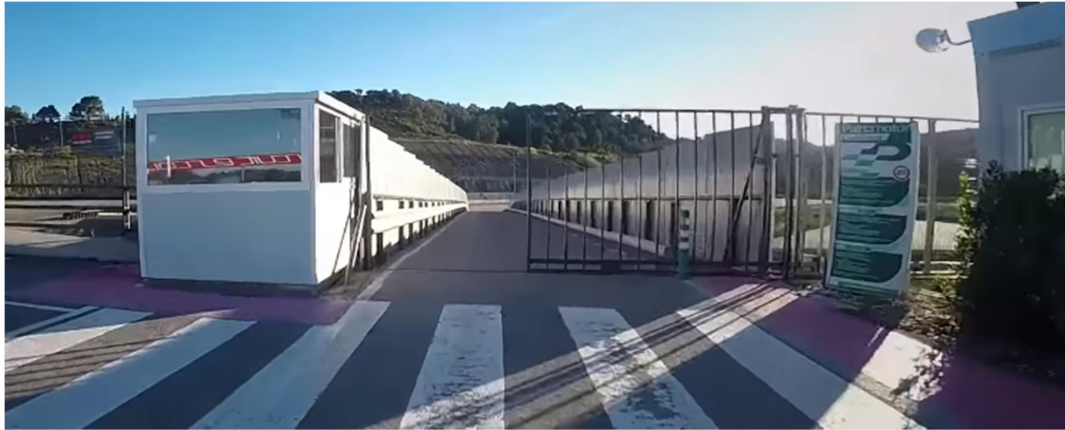


Figura 6.19 Imatge de la porta principal d'entrada al circuit de velocitat

L'horari d'accés a les instal·lacions ve determinat de la següent forma. L'apertura del circuit es produeix a partir de les 8h del matí, mentre que el tancament d'aquest es delimita fins a les 19h de la tarda com a màxim i ve determinat pel servei de pista contractat. Fora d'aquest horari no és possible fer servir les instal·lacions degut a la manca de llum solar. El circuit no disposa de lluminària i fa impracticable el pilotatge.

Per tant, durant tot el temps que el circuit roman tancat, de 19h a 8h del dia següent, és important assegurar el compliment d'aquesta normativa i que en cap moment s'accedeixi a la pista sense el consentiment dels responsables del circuit.

Per aconseguir aquest objectiu, es dissenya un dispositiu que detecti qualsevol moviment en la porta d'entrada i envii aquestes dades per mitjà de la xarxa SigFox.

6.7.2. Dispositiu mòbil amb acceleròmetre

Per la realització d'aquesta proposta no es requereix de sensors externs. Gràcies a l'acceleròmetre integrat al xip TD1205 es poden detectar moviments produïts al dispositiu. Per tant, és suficient implementar el prototip mòbil dissenyat anteriorment.

L'acceleròmetre integrat al mòdul és un sensor triaxial 3D que es caracteritza pel baix consum de potència amb un rang de ± 16 g que permet un ampli ventall d'aplicacions en funció de l'aplicació escollida.

6.7.3. Implementació de la solució

6.7.3.1. Ubicació i instal·lació

El dispositiu degut a les dimensions i pes reduïts s'ubica subjectat en la part inferior de l'última barra vertical de la dreta. Així s'evita per un costat, l'obstrucció del dispositiu amb les barres que subjecten la porta i per l'altra banda, el fet de que estigui a pocs centímetres del terra, el protegeix davant de possibles caigudes i el manté allunyat de la visió de l'ull humà.

6.7.3.2. Funcionament de l'aplicació

El dispositiu es programa per poder entrar en estat actiu amb les instal·lacions tancades en l'horari mencionat prèviament. Cada cop que la porta s'obre en aquest interval de temps, s'activa el mòdul TD1205 i es transmet una senyal d'alerta notificant la incidència.

És important assegurar l'estat de la porta, és a dir, no només que la porta s'obre sinó que també es tanca. Per això, cada cop que el dispositiu detecta un moviment d'apertura s'envien dos alertes. La primera per comunicar que la porta està oberta i la segona per avisar que està tancada. S'informa també l'hora en que s'efectuen els avisos.

D'igual manera que amb el dispositiu de detecció de llums enceses, a partir de les 19h de la tarda, el programa permet al mòdul activar-se en cas detecció de moviment de la porta. Existeix la possibilitat que els ocupants del circuit encara no hagin finalitzat la sessió i estiguin excedint-se del temps permès. Per evitar un excés de transmissió de dades durant la següent hora, el programa cada cop que notifica que la porta es tanca envia a dormir el dispositiu durant els següents 5 minuts. D'aquesta manera, s'enviarien un màxim de 20 alertes d'apertura o tancament en els pitjors dels casos.

Per la resta d'hores, es transmet a la xarxa qualsevol incidència de moviment programat. Finalment, a les 8 hores del matí, s'atura la detecció de moviments longitudinals. En cas

de caiguda del dispositiu, el mòdul envia una alerta independentment del moment en que es produeixi.

L'acceleròmetre triaxial integrat és capaç de detectar tot tipus de moviments. Per això, cal evitar alertes per vibracions de la porta. Es configuren els tres eixos de manera que s'orientin respecte a la porta de manera transversal, longitudinal i vertical. D'aquesta manera, els moviments transversals originats per vibracions, no es detectaran; els moviments longitudinals, alertaran d'apertura i tancament de la porta; i els moviments verticals, avisaran de possibles caigudes del dispositiu.

En resum, el funcionament de l'aplicació es basarà en tres alertes:

- Cas A: apertura de la porta.
- Cas B: tancament de la porta.
- Cas C: caiguda del dispositiu.

Finalment, totes les dades transmeses d'interès es notificaran als vigilants i responsables de les instal·lacions directament.

6.7.3.4. Consum energètic

A continuació es comenten els esdeveniments que es duran a terme pel control d'accés a les instal·lacions:

- Repòs: ocupa casi la totalitat del temps emprat amb un consum mitjà de $1.8 \mu\text{A}$.
- Transmissió de dades: es consideren els esdeveniments de transmissió d'alarmes de detecció de moviments. Es preveu una mitjana de 10 alertes al dia. El consum del mòdul TD1205 és de 95 mA en transmissió de dades i de 3 mA en activació de mòdul per esdeveniment amb una durada de 10 segons.

Amb aquests valor s'obté la següent taula:

Esdeveniment	Consum esdeveniment (μA)	Duració esdeveniment (s)	Número d'esdeveniments	Duració total diària (s)
Dormint (en repòs)	1,8	-	-	86.300
Transmissió dades	98.000	10	10	100

Taula 6.14 Mesures del TD1205 en la porta principal d'accés

Aplicant les fórmules vistes en l'apartat 6.1.3.3, es pot trobar la relació amb els següents consums i duracions:

Consum mitjà al dia (μA)	48,56
Duració bateria (h)	49.423
Duració bateria (anys)	5,64
Número transmissions	20.593

Taula 6.15 Valors de consum del TD1205 en la porta principal d'accés

6.8. Detector en cas d'accident

6.8.1. Plantejament del problema

El circuit de velocitat presenta un traçat molt tècnic. La probabilitat de patir un accident és present en tots els sectors. Actualment, les instal·lacions no estan condicionades per assistir als pilots: no disposen de càmeres, ni de lluminàries, ni de camins de servei. A més, les escapatòries en moltes zones no són suficients per evitar que esdevinguin accidents.

L'única manera d'alertar als serveis mèdics que un pilot ha patit un incident és per mitjà d'avisos d'altres participants en les activitats realitzades. En alguns casos, el temps que passa fins que els serveis d'atenció s'assabenten del problema pot excedir-se. Les situacions on es posa en risc la integritat física de les persones poden dependre de minuts per evitar danys majors.

Per evitar esperes innecessàries es dissenya un rastrejador que davant d'acceleracions molt elevades, envii una alerta als serveis mèdics del circuit amb la localització exacta de l'accident. Aquestes acceleracions es mesuraran en forma de forces g i el seu impacte

en les persones es veurà reflectit en funció del temps sotmès a aquestes acceleracions. Una acceleració d'1 g es correspon amb la gravetat estàndard i es veu incrementada en funció del moviment efectuat. A continuació es mostra una taula amb diversos exemples de valors que es poden arribar a assolir:

Esdeveniment	Força g
En esternudar	2,9 g
Fort cop a l'esquena	4,1 g
Muntanya russa	3,75 g (Dragon Khan); 4,7 g (Furius Baco)
Pilots Fórmula 1	3-6 g en funció de la corba
Pilots de combat	Fins a 9 g

Taula 6.16 Impacte d'acceleracions en diversos esdeveniments

6.8.2. Dispositiu mòbil amb GPS i acceleròmetre

Novament, per la implementació d'aquesta millora no es requereix de sensors externs. Gràcies a l'acceleròmetre i GPS integrats al xip TD1205 es podrà alertar a la xarxa al superar un llindar de forces g. Per tant, és suficient implementar el prototip mòbil dissenyat anteriorment.

De totes les peculiaritats que ocupa el mòdul escollit, resta per comentar el funcionament del GPS que serà d'importància en l'aplicació final. Permet detectar la posició d'un objecte amb coordenades de latitud, longitud i altura a través de la distància de cada satèl·lit a l'antena del receptor.

El dispositiu es dissenya perquè també pugui enviar alertes de posició quan l'usuari ho requereixi. Cal incorporar un polsador per transmetre aquestes alarmes manualment.

6.8.2.1. Interruptor pulsador

Una forma de controlar un dispositiu manualment és per mitjà d'interruptors. Al pulsar-lo, el circuit es tanca i deixa passar el corrent cap al port configurable per l'usuari donant-li un valor *HIGH* que indica al mòdul que ha de transmetre una senyal d'alarma.

És un sistema senzill per deixar passar el corrent però cal tindre present que es poden produir indeterminacions al deixar de pulsar l'interruptor. Per tant, cal forçar al circuit que la sortida al pin torni al valor inicial *LOW* que en aquest cas és de tensió nul·la. Per aconseguir aquest efecte s'aplica una resistència *pull-down*. Aquesta resistència força al circuit a prendre com a referència el camí que té menor diferència de potencial, és a dir, el camí de la resistència connectada al terra.

Amb aquest component es modifica el control del dispositiu amb un element electrònic sense necessitat de software sent un dels objectius del funcionament de l'aplicació.



Figura 6.20 Pulsador Schurter 1301.9309 [20]

6.8.3. Implementació de la solució

6.8.3.1. Ubicació i instal·lació

El dispositiu final està dissenyat per ocupar el mínim espai possible i per poder-se col·locar en qualsevol ubicació, així com en qualsevol situació que esdevingui. I tot gràcies a l'autonomia atorgada per la bateria, i per l'antena i acceleròmetre integrats al mòdul. Per tant, la instal·lació del dispositiu serà practicable per qualsevol tipus de

vehicle i només caldrà definir en quina ubicació vol l'usuari que es situï de manera que sigui segura i accessible en cas d'emergència.

6.8.3.2. Funcionament de l'aplicació

L'objectiu de l'aplicació proposada és d'avisar automàticament quan un vehicle pateix acceleracions brusques mentre realitza el recorregut. Per tant, cal definir inicialment a partir de quins valors el mòdul alertarà de que s'ha produït una incidència. Per adoptar aquesta decisió es partirà dels vehicles de fórmula 1 que pateixen les forces g més elevades durant el pilotatge.

Durant el present any, els pilots d'aquesta disciplina en alguns circuits han arribat a superar els 6 g en corba. Correspon a una acceleració molt elevada i inabastable per les condicions i vehicles del circuit de Castellolí. Per tant, és un bon punt de partida per establir el llindar a partir del qual es genera una alerta.

Com es tracta d'una gran acceleració és molt probable que no es detectin altres incidències que puguin requerir de servei d'atenció a pista com per exemple, sortides del traçat o accidents lleus. És per això que el dispositiu incorpora d'un interruptor que al pulsar-lo envia una alerta igualment.

D'aquesta manera es plantegen tres alertes diferents d'acord amb les condicions imposades:

- Alerta de primera detecció de moviment: cada dia el dispositiu es restableix amb les condicions inicials. Quan detecta el primer moviment envia una alerta d'activació del dispositiu amb la posició del GPS.
- Alerta de forces de +6 g: quan el mòdul detecta un pic superior a aquesta acceleració, transmet una senyal amb la força g obtinguda i la ubicació del GPS
- Alerta per interruptor pulsador: cada cop que s'activa el pulsador, s'avisarà al mòdul perquè transmeti una alerta amb la ubicació del GPS.

La posició del GPS es programarà perquè detecti la zona on s'ha produït la incidència. Vindrà determinada pel sector 1, 2 o 3 del circuit i la corba més propera amb l'objectiu de facilitar la informació més precisa als serveis d'atenció contractats.

Les dades recollides s'enviaran directament a tots aquests serveis mèdics per agilitzar l'atenció i evacuació dels implicats.

6.8.3.3. Consum energètic

A continuació es comenten els esdeveniments que es duren a terme en la detecció d'acceleracions elevades:

- Repòs: ocupa casi la totalitat del temps emprat amb un consum mitjà de 1.8 μ A.
- Detecció d'acceleracions superiors a 6 g o per mitjà del pulsador: activa el mòdul amb un consum de 3 mA. La durada equival al total d'accions requerides durant l'esdeveniment.
- Activació i posició GPS: al activar-se l'acceleròmetre, el GPS busca una posició amb un consum de 23 mA i una durada de 3 minuts i adquireix la ubicació amb un consum de 29 mA i una durada de 10 segons.
- Transmissió de dades: el mòdul envia una alerta de 95 mA en un temps màxim de 10 segons.
- Primera transmissió i detecció de moviment: per assegurar el correcte funcionament del dispositiu, el primer moviment detectat al dia es transmetrà al sistema amb la ubicació del GPS.

Esdeveniment	Consum esdeveniment (μ A)	Duració esdeveniment (s)	Número d'esdeveniments	Duració total diària (s)
Dormint (en repòs)	1,8	-	-	85.800
Transmissió dades	95.000	5	1	10
Activació mòdul	3.000	195	1	195
Recerca de posició	23.000	180	1	180
Adquisició de posició	29.000	10	1	10

Taula 6.17 Mesures del TD1205 com a rastrejador

Aplicant les fórmules vistes en l'apartat 5.1.3.3, es pot trobar la relació amb els següents consums i duracions. En aquesta aplicació, només es farà servir una bateria de 1,2 Ah de capacitat per reduir les dimensions del dispositiu.

Consum mitjà al dia (μA)	29,85
Duració bateria (h)	40.201
Duració bateria (anys)	4,59
Número transmissions	1.675

Taula 6.18 Valors de consum del TD1205 com a rastrejador

6.9 Aspectes finals

Analitzades les diferents propostes plantejades en l'estudi d'aquest projecte, és interessant concretar l'impacte energètic global que suposa la materialització del conjunt de millores en el circuit de velocitat. D'igual manera, es representa en un plànol la ubicació final dels dispositius implementats.

6.9.1 Consum energètic total

En aquest apartat es pretén comptabilitzar els diferents consums mitjans totals al llarg d'un dia i efectuats per la totalitat de dispositius, un cop coneguts aquests valors prèviament calculats.

Proposta	Número de dispositius	Consum mitjà diari per dispositiu (μA)	Consum mitjà diari per proposta (μA)
Mesura de temperatura i humitat	5	69,21	346,05
Mesura del nivell acústic	2	20,07	40,15
Detector lluminositat als boxes	1	37,93	37,93
Control de la velocitat al pit lane	2	310,16	620,32
Control del nivell de brossa	1	8,08	8,08
Recollida de pneumàtics usats	1	7,88	7,88
Control d'accés	1	48,56	48,56
Detector d'accidents	20	29,85	597
		Consum mitjà total diari (μA)	1.705,97

Taula 6.19 Consum mitjà total al llarg d'un dia

De la taula s'obté un consum mitjà total diari de 1,7 mA en la bateria que traduït en potència equival a 0,0153 W. Aprofitant les fórmules prèviament plantejades podem calcular la duració mitjana de les bateries per a totes les propostes amb l'objectiu de determinar cada quina periodicitat requerirà reposar de noves.

Cada 5,69 anys es determina la periodicitat amb que a partir de la mitjana dels dispositius implementats, es requerirà modificar la bateria implementada.

6.9.2 Plànol del circuit de velocitat sensoritzat

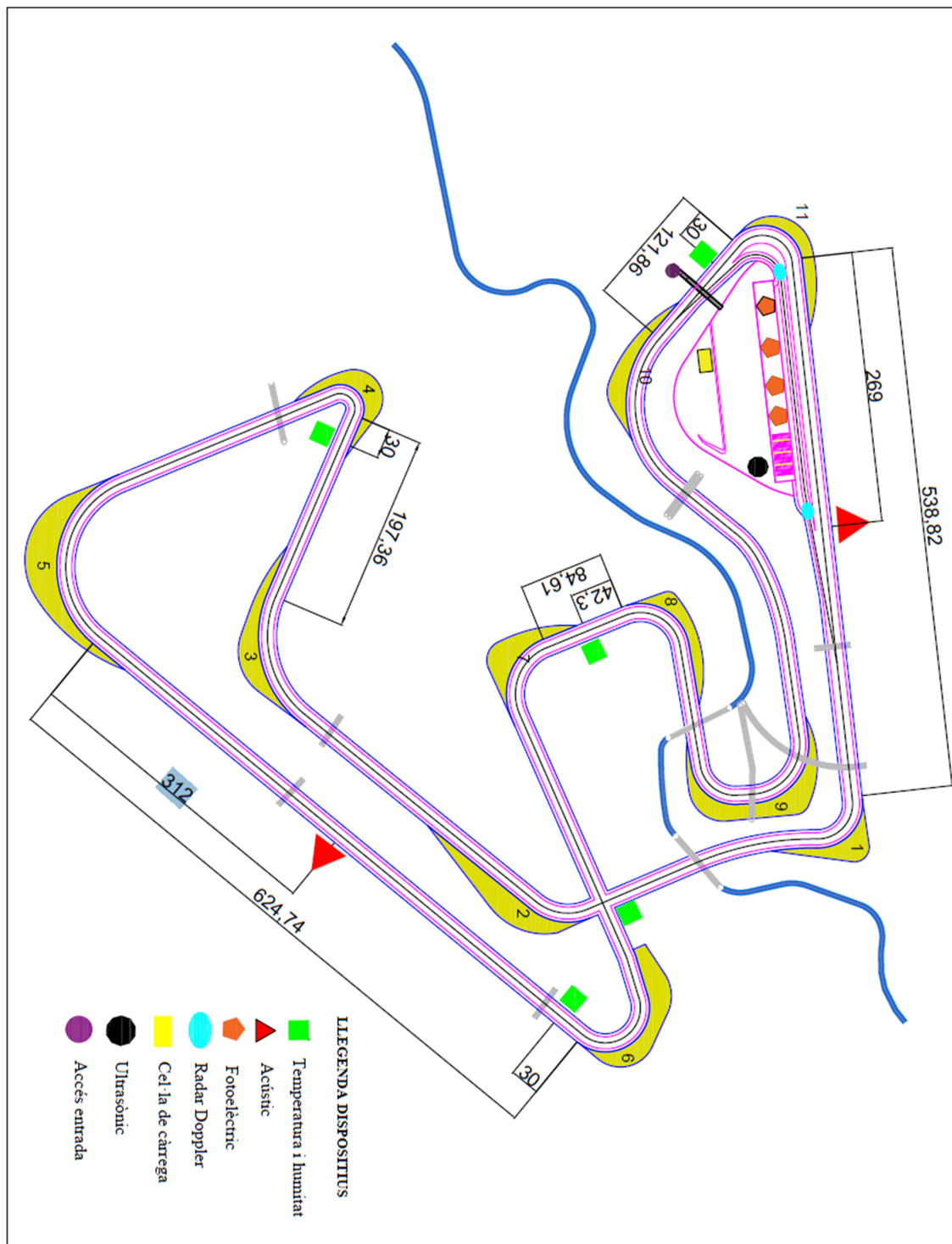


Figura 6.21 Plànol d'AutoCAD del circuit de velocitat. Inclou la globalitat de les propostes.
Elaborat en base al plànol facilitat per SERPRO

7. PRESSUPOST

El pressupost del projecte es desglossa en els diferents components per a cada prototip i dispositius implementats. Definitos els dispositius, es calcula el cost total del projecte.

7.1. Prototip genèric per dispositius fixos

Component	Referència producte	Cost unitari
Mòdul SigFox	TD1208R	25 €
Bateria	Panasonic 6LF22XWA/B	2,56 €
Convertidor DC/DC	Recom R-78B3.3-1.0L	2,50 €
Connector dispositiu-sensor	Molex 70553	1,51 €
Interruptor digital de mosfets	Mosfet PMV20ENR	0,26 €
	Mosfet TSM2307	0,34 €
	Components auxiliars (resistències, díodes, etc)	3,08 €
Antena RF	Antena 868 MHz	12 €
	Preu total	47,25 €

Taula 7.1 Llistat de components principals del dispositiu fix

7.2 Prototip genèric per dispositius mòbils

Component	Referència producte	Cost unitari
Mòdul SigFox	TD1205	79 €
Bateria	Panasonic 6LF22XWA/B	2,56 €
Convertidor DC/DC	Recom R-78B3.3-1.0L	2,50 €
	Preu total	84,06 €

Taula 7. 2 Llistat de components principals del dispositiu mòbil

7.3 Dispositius implementats

Dispositiu amb sensor de temperatura i humitat		
Component	Referència producte	Cost unitari
Prototip genèric fix	-	47,25 €
Sensor temperatura i humitat	Amphenol T9602	47,83 €
	Preu total	95,08

Taula 7. 3 Components del dispositiu amb sensor de temperatura i humitat

Dispositiu amb sensor acústic		
Component	Referència producte	Cost unitari
Prototip genèric fix	-	47,25 €
Sensor acústic	CJMCU-4466	7,45 €
	Preu total	54,70 €

Taula 7.4 Components del dispositiu amb sensor acústic

Dispositiu amb sensor radar Doppler		
Component	Referència producte	Cost unitari
Prototip genèric fix	-	47,25 €
Sensor acústic	HB100	4,38 €
Llum vermella LED	-	6,94 €
Interruptor digital de mosfets	-	3,68 €
Convertidor DC/DC	Recom R-78E5.0-0.5	2,50 €
	Preu total	64,75 €

Taula 7.5 Components del dispositiu amb sensor radar Doppler

Dispositiu amb sensor fotoelèctric		
Component	Referència producte	Cost unitari
Prototip genèric fix	-	47,25 €
Sensors fotoelèctrics (4 unitats)	PDV-P8001	3,40 €
	Preu total	50,65 €

Taula 7.6 Components del dispositiu amb sensor fotoelèctric

Dispositiu amb sensor ultrasònic		
Component	Referència producte	Cost unitari
Prototip genèric fix	-	47,25 €
Sensor ultrasònic	HC-SR04	3,58 €
	Preu total	50,83 €

Taula 7.7 Components del dispositiu amb sensor ultrasònic

Dispositiu amb cel·la de càrrega		
Component	Referència producte	Cost unitari
Prototip genèric fix	-	47,25 €
Cel·la de càrrega	PDV-P8001	117,11 €
Convertidor DC/DC	Recom R-78E5.0-0.5	2,50 €
	Preu total	166,86 €

Taula 7.8 Components del dispositiu amb cel·la de càrrega

Dispositiu accés porta d'entrada		
Component	Referència producte	Cost unitari
Prototip genèric mòbil	-	84,06 €
	Preu total	84,06 €

Taula 7.9 Components del dispositiu d'accés a la porta principal

Dispositiu rastrejador		
Component	Referència producte	Cost unitari
Prototip genèric mòbil	-	84,06 €
Interruptor polsador	Schurter 1301.9309	0,25 €
	Preu total	84,31 €

Taula 7.10 Components del dispositiu rastrejador

7.4 Pressupost final

Preu dispositius			
Model	Cost unitari	Unitats	Cost total
Dispositiu amb sensor de temperatura i humitat	95,08 €	5	475,40 €
Dispositiu amb sensor acústic	54,70 €	2	109,40 €
Dispositiu amb sensor radar Doppler	64,75 €	2	129,50 €
Dispositiu amb sensor fotoelèctric	50,65 €	1	50,65 €
Dispositiu amb sensor ultrasònic	50,83 €	1	50,83 €
Dispositiu amb cel·la de càrrega	166,86 €	1	166,86 €
Dispositiu accés porta d'entrada	84,06 €	1	84,06 €
Dispositiu rastrejador	84,31 €	20	1.686,20 €
Cost total			2.752,90 €
Xarxa de transmissió de dades			
Subscripció SigFox	Cost/dispositiu	Dispositius	Cost total anual
Tarifa anual	2 €	33	66 €
Preu mà d'obra			
Concepte	Cost/hora	Hores	Cost total
Honorari Enginyer Industrial	20 €	300	6.000 €
Muntatge prototips			2.920 €
- Honorari Tècnic Electrònic	20 €	80	1.600 €
- Components addicionals (PCB, carcassa protectora, cablejat, impedàncies, etc.)			1.320 €
Programació prototips			3.200 €
- Honorari Tècnic Electrònic o Informàtic	20 €	160	3.200 €
Preu abans d'impostos			14.938,90 €
Impostos			
IVA (21%)			3.137,17 €
PRESSUPOST FINAL			18.076,07 €

Taula 7.11 Pressupost final

CONCLUSIONS

Després de l'anàlisi realitzat sobre les tecnologies de comunicació actuals, és possible afirmar que la solució SigFox s'adapta perfectament a les necessitats de l'Internet de les Coses, oferint una transmissió d'informació simplificada amb un molt baix consum energètic i cost. Tot plegat, permet la possibilitat d'interconnectar una gran varietat d'objectes amb multiplicitat d'aplicacions.

Per aconseguir aquesta reducció del consum i cost, tots els plantejaments efectuats estan basats en la minimització del temps operatiu dels dispositius proposats. Els sensors i mòduls emprats només funcionen quan es requereix transmetre una alerta. Per aconseguir aquest efecte es precisa de la programació del mòdul i d'un interruptor digital per activar els sensors. A partir d'aquestes premisses, el consum mitjà diari és de pocs μA i la duració de les bateries es veu incrementada consegüentment.

Actualment, és condició necessària plantejar propostes de limitada interacció amb l'usuari en la implementació de qualsevol alternativa basada en l'Internet de les Coses. El seu funcionament bàsic i pràctic permet una ràpida execució de les solucions imposades.

El preu d'elaboració d'un prototip és elevat en comparació al mercat actual tot i ser una tecnologia molt innovadora. La producció en sèrie abaratiria els costos i el faria competitiu.

A partir d'aquests criteris, les propostes plantejades estan pensades per abastir molts altres complexos amb característiques similars, i si s'escau, extrapolar-les a altres activitats que mantinguin certes similituds.

Per últim, aquest projecte pretén deixar la porta oberta a futures accions en la materialització de totes les idees descrites i d'altres que puguin sorgir en els pròxims anys.

AGRAÏMENTS

Al director i tutor d'aquest Treball de Fi de Grau, Emilio Hernández, per oferir-me la possibilitat de realitzar aquest projecte.

A tots aquells amics meus, de facultat i d'altres disciplines, per ajudar-me desinteressadament durant aquests quatre mesos i pels seus oportuns consells en els moments més crítics.

A la meva família, per tot el suport rebut durant la meva etapa universitària i la motivació per continuar estudiant.

BIBLIOGRAFIA

Referències comprovades per última vegada el 26 de Juny de 2017. No es garanteix que el contingut d'aquestes sigui el mateix passada aquesta data.

Referències bibliogràfiques

- [1] D. Evans, «Cisco IBSG,» Abril 2011. [En línia]. Available:
http://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf. [Últim accés: Març 2017].
- [2] R. van der Meulen, «Gartner Newsroom,» 7 Febrer 2017. [En línia]. Available:
<http://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>. [Últim accés: Març 2017].
- [3] «Sigfox_Whitepaper.pdf,» *Sigfox Whitepaper*, p. 17.
- [4] «Família de mòduls TD12xx de Telecom Design,» [En línia]. Available:
<http://rfmodules.td-next.com/>. [Últim accés: Abril 2017].
- [5] «Datasheet TD1208,» [En línia]. Available: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/assetstdnext/download/TD120xR+Datasheet+rev1.2.pdf>. [Últim accés: Abril 2017].
- [6] «Datasheet Panasonic 6LF22XWA,» [En línia]. Available:
http://www.mouser.com/ds/2/315/panasonic_alkaline_batteries_9v_series_6lf22xwa-541606.pdf. [Últim accés: Maig 2017].
- [7] «Datasheet Recom R-78B3.3-1.0L,» [En línia]. Available:
http://www.mouser.com/ds/2/468/R-78Bxx-1.0_L-958368.pdf. [Últim accés: Maig 2017].
- [8] «Datasheet TD1205,» [En línia]. Available: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/assetstdnext/download/TD1205P+Datasheet+rev1.3.pdf>. [Últim accés: Abril 2017].
- [9] «Fast ParcMotor,» [En línia]. Available: <http://www.fastparcmotor.com/>. [Últim accés: Març 2017].

- [10 «ParcMotor Castellolí,» [En línia]. Available: <http://www.parcmotor.com/ca>.
] [Últim accés: Març 2017].
- [11 «Clima Castellolí,» 2016. [En línia]. Available: <https://es.climate-data.org/location/285564/>. [Últim accés: Maig 2017].
- [12 «Datasheet Termistor JS6862,» [En línia]. Available:
] http://www.mouser.com/ds/2/18/Amphenol_09122016_JS-981104.pdf. [Últim accés: Maig 2017].
- [13 «Datasheet: Sensor humitat capacitiu,» [En línia]. Available:
] http://www.mouser.com/ds/2/682/Sensirion_Humidity_SHT7x_Datasheet_V5-469726.pdf. [Últim accés: Maig 2017].
- [14 «Datasheet: Sensor T9602,» [En línia]. Available:
] <http://www.mouser.com/ds/2/18/AAS-920-638F-Telaire-T9602-060316-web-850549.pdf>. [Últim accés: Maig 2017].
- [15 «Datasheet: Sensor fotoresistor PDV-P8001,» [En línia]. Available:
] <http://www.mouser.com/ds/2/737/photocells-932884.pdf>. [Últim accés: Maig 2017].
- [16 «Datasheet: Sensor radar Doppler HB100,» [En línia]. Available:
] https://www.limpkin.fr/public/HB100/HB100_Microwave_Sensor_Application_Note.pdf. [Últim accés: Maig 2017].
- [17 «TMART,» [En línia]. Available: http://es.tmart.com/Emergency-Security-Alarm-LED-Strobe-Flashing-Light-Red_p108674.html. [Últim accés: Juny 2017].
- [18 «Datasheet: Sensor ultrasònic HCSR04,» [En línia]. Available:
] <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>. [Últim accés: Maig 2017].
- [19 «REAL DECRETO 1619/2005,» 30 Decembre 2005. [En línia]. Available:
] <https://www.boe.es/boe/dias/2006/01/03/pdfs/A00352-00357.pdf>. [Últim accés: Maig 2017].

- [20 «Datasheet: Polsador Schurter 1301.9309,» [En línia]. Available:
] http://www.mouser.com/ds/2/358/typ_LPH-184348.pdf. [Últim accés: Juny 2017].
- [21 «Telemetrie Shop,» [En línia]. Available: <http://www.telemetrieshop.nl/product/50>.
] [Últim accés: Maig 2017].
- [22 «Datasheet: Cel·la de càrrega FC23,» [En línia]. Available:
] <http://www.mouser.com/ds/2/418/FC23-710713.pdf>. [Últim accés: Maig 2017].
- [23 R. Chamam, «SigFox vs LoRa,» 18 Octubre 2016. [En línia]. Available:
] <https://raed.it/blog/iot-network-sigfox-vs-lora/>. [Últim accés: Març 2017].

Bibliografia complementària

Entrevista Belén Arranz. Responsable de Ventas de SigFox, 2015. Available: http://es.itweb.tv/Entrevista-Belen-Arranz-Responsable-de-Ventas-de-Sigfox_v518.html. [Últim accés: Març 2017]

Article sobre Internet of Things. Nicolás Ribera, 20 Juny 2015. Available: <https://hipertextual.com/2015/06/internet-of-things>. [Últim accés: Març 2017]

Article de El País. Seguretat en l'IoT. Micaela Quinteros, 25 Setembre 2015. Available: http://tecnologia.elpais.com/tecnologia/2016/09/12/actualidad/1473677167_230305.htm. [Últim accés: Març 2017]

Article sobre dispositius connectats amb IoT. Alberto Iglesias, 7 Febrer 2017. Available: <http://www.ticbeat.com/innovacion/internet-de-las-cosas-8400-millones-dispositivos-conectados-2017>. [Últim accés: Març 2017]

Freqüències de telefonia mòbil. Available: https://wiki.bandaancha.st/Frecuencias_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil. [Últim accés: Abril 2017]

Reportatge circuit de velocitat de Castellolí, 29 Maig 2011. Available: <https://www.todocircuito.com/reportajes/25-circuito-parcmotor-castelloli.html>. [Últim accés: Abril 2017]

Pàgina oficial Karting ParcMotor. Available: <http://www.kartingparcmotor.com>. [Últim accés: Abril 2017]

Article de La Vanguardia. Sistemes de brossa intel·ligents. Rocío Navarro, 20 Febrer 2017. Available: <http://www.lavanguardia.com/vivo/ciudad/20170220/42155611703/basura-smart-ciudad.html>. [Últim accés: Maig 2017]

Pàgina oficial Telecom Design. Available: <http://www.telecom-design.com>. [Últim accés: Maig 2017]

Pàgina oficial Cellnex Telecom. Available: <https://www.cellnextelecom.com>. [Últim accés: Maig 2017]

Pàgina oficial Cloud on Chip. Available: <http://www.cloudonchip.com>. [Últim accés: Maig 2017]

Pàgina oficial SigFox. Available: <https://www.sigfox.com/en>. [Últim accés: Juny 2017]

Canal de YouTube, Avnec Silica. Enfocat en solucions de IoT. Available: <https://www.youtube.com/user/SILICAMarcom/videos>. [Últim accés: Juny 2017]

Canal de YouTube, ZoD Z. Enfocat en mostrar instal·lacions i pilotatges de diversos circuits com el de Castellolí. Available: https://www.youtube.com/channel/UCSW_94RHeiHPN0xGogYfR4w/videos. [Últim accés: Juny 2017]